KVANTITATÍVNE METÓDY INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA

Kamila Hlavčová, Ján Szolgay, Silvia Kohnová

Článok sa zaoberá problematikou integrovaného manažmentu povodia pre zabezpečenie trvalo udržateľného rozvoja vodných zdrojov. Spracovaný je tu prehľad o progresívnych metódach, ktoré sa v súčasnosti v IMP vo svete využívajú, resp. zavádzajú do praxe. Dôraz je kladený najmä na sektorálne nástroje a modely na simulovanie procesov v povodiach a integrované systémy, ktoré integrujú v sebe nástroje pre modelovanie, rozhodovanie a plánovanie v oblasti integrovaného manažmentu povodí. Ako príklad možností využitia nástrojov IMP v praxi sú tu uvedené výsledky prípadovej štúdie na povodí Hrona, v ktorej bolo na určenie možných zmien odtokových procesov, spôsobených zmenou manažmentu povodia, využité modelovanie odtoku fyzikálne orientovaným hydrologickým modelom s rozčlenenými parametrami.

Kľúčové slová: integrovaný manažment povodia (IMP), trvalo udržateľný rozvoj vodných zdrojov, sektorálne nástroje a integrované systémy IMP, hydrologický model s rozčlenenými parametrami

Progressive methods in integrated river basin management. *In the paper progressive methods in integrated river basin management are reviewed with emphasis on tools and integrated systems for sustainable development of water resources. As an example of using such methods in the practice, the results of a case study in the Hron river basin are presented. A physically based hydrological model with distributed parameters was used for the assessment of changes in runoff regime due to changes in basin management.*

Key words: integrated river basin management (IRBM), sustainable development of water resources, sectoral tools and integrated systems in IRBM, hydrological model with distributed parameters

---

1. ÚVOD

Podľa Rámcovej smernice EÚ o vodách základnú jednotku, v ktorej by sa malo realizovať hospodárenie s vodnými zdrojmi, predstavujú povodia. Zabezpečenie trvalo udržateľného hospodárenia s vodnými zdrojmi v povodiach je možné iba ich integrovaným manažmentom (IMP), na ktorom sa zúčastňujú ako správcovia, tak aj užívatelia vodných zdrojov a ktoré zahŕňa plánovanie, využívanie a manažment krajiny, a všetky oblasti hospodárenia s vodou z hľadiska jej kvantity aj kvality (vodné hospodárstvo, zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou, priemysel, poľnohospodárstvo, lesníctvo, ako aj sociálno-ekonomické a politické hľadiská a záujmy spoločnosti).

Mnohé zo základných princípov pre integrovaný manažment vodných zdrojov boli sformulované v roku 1992 v Dubline na medzinárodnej konferencii o vode a životnom prostredí. Cieľom týchto princípov bolo urýchliť zmeny v tých oblastiach a aktivitách, ktoré sú považované za základné pre zdokonalenie manažmentu vodných zdrojov. Dublinské princípy prispeli značnou mierou k vytvoreniu odporúčaní Agendy 21- kapitoly 18 o vodných zdrojoch, ktorá bola prijatá na konferencii o životnom prostredí a rozvoji OSN v de Janiero v roku 1992. Tento prístup k vodným zdrojom známy ako Dublin-Rio Principle (Thomas, 2003) zdôrazňuje, že zásoby pitnej vody sú obmedzené a náchylné na ohrozenie, preto sú prvoradé z hľadiska udržania života, populácie, ekonomického rastu a životného prostredia. V nasledujúcom období boli tieto princípy rozpracované na rokovaniach viacerých medzinárodných konferencií o vode napr. v Harare a v Paríži 1998, a venovala sa im aj komisia OSN pre trvaloudržateľný rozvoj na svojom zasadnutí v Rio de Janiero „Rio+5“ roku 1998.

V článku sme spracovali prehľad o kvantitatívnych metódach, ktoré sa v súčasnosti vo svete využívajú, resp. sú v štádiu zavádzania v integrovanom manažmente povodí. Zamerali sme sa pritom na projekty podporované Európskou úniou v oblasti integrovaného manažmentu povodia, sektorálne nástroje, ktoré sa v súčasnosti používajú na modelovanie rôznych procesov v povodiach a integrované systémy pre modelovanie, rozhodovanie a plánovanie v oblasti integrovaného manažmentu povodí. Ako príklad možností využitia nástrojov IMP v praxi sú tu uvedené výsledky prípadovej štúdie na

povodí Hrona, v ktorej bolo na určenie možných zmien odtokových procesov, spôsobených zmenou manažmentu povodia, využité modelovanie odtoku fyzikálne orientovaným hydrologickým modelom s rozčlenenými parametrami.

2. DEFINÍCIE INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA (IMP)

Na vyjadrenie pojmu integrovaný manažment vodných zdrojov v povodí, resp. integrovaný manažment povodia (IMP) existuje v súčasnosti množstvo definícií, ktoré sa navzájom dopĺňajú a upresňujú. Ako príklad tu uvádzame niektoré z nich.

Integrovaný manažment povodia zohľadňuje multisektorálnu podstatu v kontexte celkového spoločensko-ekonomického rozvoja, ako aj rôznych záujmov týkajúcich sa využívania a ochrany vodných zdrojov, a to v oblasti zásobovania vodou a kanalizačných sietí, poľnohospodárstva, priemyslu, sídelného rozvoja, vodných diel, ako aj v oblasti dopravy, rekreácie, rybárstva a ďalších činností.

Integrovaný manažment vodných zdrojov je proces, ktorý podporuje koordinovaný rozvoj a riadenie vodných zdrojov, krajiny; a ďalších súvisiacich zdrojov, v snahe maximalizovať výsledné ekonomické a sociálne blaho, bez porušenia trvalej udržateľnosti ekosystému. Táto definícia bola neskôr rozšírená o integráciu vo využívaní vodných zdrojov aj v zmysle technickom, sociálnom i politickom a zahŕňa aj riešenie konfliktov v potrebe vody (Global Water Partnership Technical Advisory Comittee, 2000).

Podľa Ballweber (1995); Bulkley (1995); Deyle (1995) integrovaný manažment povodia znamená zlúčenie a zohľadnenie sociálnych, environmentálnych a technických aspektov pri využívaní vodných zdrojov. Tento proces zahŕňa vytvorenie diskusného fóra, zmeny v procesoch plánovania a riadenia vodných zdrojov, vytypovanie nových vodných zdrojov, kontrolu kvantity a kvality vôd, ochranu a revitalizáciu prírodných systémov, prehodnotenie súčasných projektov, výchovu, vzdelávanie, hľadanie spolupráce s verejnosťou a pod. Snahou je smerovanie vodohospodárskych rozhodnutí smerom k flexibilnému holistickému a environmentálnemu riadeniu.

Mitchell (1990) hovorí, že integrovaný manažment povodia predstavuje komplex, ktorý zahŕňa prvky celého hydrologického cyklu, prechádza cez hranice povodí a krajiny a spája vodu so širšími politickými otázkami regionálneho, ekonomického a environmentálneho rozvoja. Rovnako aj Grigg (1996) poukazuje na to, že integrovaný manažment povodia zahŕňa politické, geografické a hydroekologické vedné hľadiská.

Združenie American Water Works Association (AWWRA) sa pokúsilo spracovať definíciu konceptu tzv. „Celkového manažmentu vôd“, ktorý tiež v sebe zahŕňa definíciu integrovaného manažmentu povodia. „Celkový manažment vôd“ predstavuje taký spôsob riadenia vodných zdrojov, snahou ktorého je zabezpečiť prosperitu spoločnosti a nenarušiť životné prostredie. Je založený na princípe trvalo udržateľného rozvoja. Tento spôsob riadenia podporuje plánovanie a využívanie vodných zdrojov na princípe prírodného dynamického procesu, ktorý sa prispôsobuje zmeneným podmienkam, zahŕňa spoluúčasť všetkých zložiek riadenia, užívateľov a riadiacich pracovníkov, prostredníctvom procesu koordinácie a riešenia konfliktov, zvyšuje využívanie vody, recykláciu, ochranu zdrojov, a podporuje riadenie kvality a kvantity vôd, podporuje zdravie, bezpečnosť, a prosperitu spoločnosti.

3. EURÓPSKE PROJEKTY V OBLASTI INTEGROVANÉHO MANAŽMENTU POVODIA

Európska únia si plne uvedomuje dôležitosť problematiky integrovaného manažmentu vodných zdrojov v povodí a snaží sa všestranne podporovať vývoj v tejto oblasti. V súčasnosti podporuje množstvo projektov, ktoré pokrývajú vývoj a využívanie nástrojov a integrovaných systémov v oblasti manažmentu, rozhodovania a plánovania vodných zdrojov, ich štandarizáciu a harmonizáciu, testovanie v pilotných povodiach, ako aj rozširovanie výsledkov a vzdelávanie v tejto oblasti.

K takýmto projektom patrí napr. Rhine Network pre lepšie spoločné riadenie rieky Rýn, výskumný projekt Water Strategy Man pre vyhodnotenie alternatívnych stratégií pre riadenie vodného hospodárstva, projekt IRBM (Európska pracovná skupina pre definovanie podmienok zavádzania Rámcovej smernice EÚ o vodách v jednotlivých európskych štátoch), projekt IWRM Net (sieť na rozširovanie výsledkov výskumu v oblasti integrovaného manažmentu povodí) a projekt WEST (Water EconomicS Training pre spracovanie prehľadu o výskume v oblasti vody v Európe). Európska únia podporuje aj vzdelávanie v oblasti integrovaného manažmentu povodia, a to napr. projektmi Leonardo da Vinci, v ktorom sú podporované projekty Limousin Water a Tech III, a projekt WFD - Community – virtual community for training of water professionals. V rámci 6. RP EÚ sa tiež rieši rozsiahly projekt CATCHMOD Cluster, obsahujúci 10 projektov zameraných na integrovanie fyzicko-chemických, ekologických a sociálno-ekonomických aspektov a vytvorenie univerzálne akceptovateľného a prepojeného modelovacieho nástroja. Súčasťou CATCHMOD Cluster je projekt HarmoniCA zameraný na harmonizáciu nástrojov na modelovanie procesov v povodí pre ciele IMP, so svojimi zložkami - HarmonIT pre tvorbu nástrojov pre modelovanie životného prostredia, HarmoniQuA pre zabezpečenie kvality modelovania a Harmoni COP pre plánovanie (Refsgaard, 2001). Do oblasti skúšobného modelovania patria napr. EUROHARP pre optimalizáciu modelovania nutrientov, CLIME pre modelovanie vplyvu klimatickej zmeny na jazerá a prípadové štúdie Tisza River Project, HarmoniRiB, a TRANSCAT. Podobné projekty ako CATCHMOD sú aj projekty ARID, CITY-NET - Cluster, a projekt ACTIF.

4. NÁSTROJE A SYSTÉMY POUŽÍVANÉ PRE INTEGROVANÝ MANAŽMENT POVODIA

V súčasnosti sa v mnohých krajinách využívajú rôzne sektorálne nástroje a modely na modelovanie jednotlivých procesov v povodiach, a to v oblasti podzemných vôd, zrážkovo-odtokových procesov, hydrodynamických procesov, protipovodňovej ochrany, kvality vody, ekológie, bioty, a v sociálno-ekonomickej oblasti. Tieto oblasti modelovania sú často prepojené do integrovaných systémov na analýzu, rozhodovanie a plánovanie hospodárenia s vodnými zdrojmi s ohľadom na všetky možné záujmy a aspekty. Aj keď niektoré z týchto systémov sú prioritne zamerané iba na niektoré hľadiská hospodárenia s vodnými zdrojmi, všetky sa snažia poskytnúť ucelené nástroje pre potreby riadenia a rozhodovania. Ako príklady takýchto systémov možno uviesť (podľa Water Strategy Man, 2003) napr.: DSS (Podporný rozhodovací systém pre plánovanie vodných zdrojov na základe environmentálnej bilancie), SDSS (Priestorový systém pre podporu rozhodovania v hodnotení schém riadenia spotreby a dodávky vody), IQQM (Integrated Quantity and Quality Model - Integrovaný model kvantity a kvality), systém Basins (Better Assesment Sience Integrating Point and Non-Point Sources), model Mike Basin (komplexný podporný systém rozhodovania v integrovanom manažmente vodných zdrojov a plánovaní) (DHI, 1996), model RIBASIM (RIver BAsin SImulation), model ENSIS (Enviromental Surveillance and Information System - nástroj na environmentálny monitoring a ochranu), model REALM (the Resorce Allocation Model - model pre simuláciu systémov zásobovania vodou), model MULINO (MULtisektorálny, INtegrovaný a Operatívny systém pre udržateľné využívanie vodných zdrojov v povodiach (La Jeunesse, a kol., 2003), model WEAP (Water Evaluation and PLanning System – model pre podporu rozhodovania pri zásobovaní vodou a pri manažmente potreby vody), systém WaterWare (systém pre podporu rozhodovania pre integrované plánovanie a manažment riečnych povodí), systém Aquatool (zovšeobecnený systém pre plánovanie zdrojov vody a prevádzkový manažment povodia) a model Iras (Interactive River-Aquifer Simulation – nástroj pre simuláciu zdrojov povrchových a podzemných vôd).

4.1 Štandardizácia a zabezpečenie kvality modelovania v nástrojoch pre IMP

Vzhľadom na to, že integrované systémy, používané pre IMP integrujú modelovanie zložitých prírodných, ako aj sociálno – ekonomických procesov, okrem rozvoja a zavádzania týchto nástrojov sa začína klásť dôraz ich štandarizáciu a na zabezpečenie kvality pri ich využívaní. V mnohých krajinách sa kvalita modelovania zabezpečuje rôznymi smernicami a štandardami, ktorými by sa mali modelovacie projekty riadiť. Príkladom je napr. holandská príručka Good Modelling Practice Handbook (Waveren a kol., 2000), určená pre plánovanie a navrhovanie, operatívne riadenie,

ohodnotenie, optimalizáciu, verejné informácie, vzdelávanie a pod. vo všetkých oblastiach vodného hospodárstva. Pokrýva modely podzemných vôd pre nasýtenú a nenasýtenú zónu, zrážkovo-odtokové modely, modely distribúcie vody, hydrodynamické modely, modely na predpoveď povodní a včasného varovanie pred nimi, modely kvality povrchovej vody, modely čistenia odpadových vôd, ekologické modely, modely pre ekonomické odvetvia týkajúce sa vody a modely záťaže odpadmi a emisiami. Príručka sprevádza modelujúcich počas celého modelovacieho cyklu a poukazuje aj na mnohé zradné a chúlostivé miesta všeobecného charakteru a na mnohé podľa špecifickej oblasti. Príručka tiež poskytuje návody, ako zaznamenať a popísať všetky aktivity spojené s modelovaním, ktoré môžu byť využité pri rekonštrukcii projektu.

Podobné príručky boli spracované aj v iných európskych krajinách, aj keď mnohé z nich sú kladú dôraz iba na niektoré oblasti alebo aspekty integrovaného manažmentu povodia, napr. na modelovanie podzemných vôd. Aj vzhľadom na uvedené vzniká rad ďalších projektov (napr. projekt HarmoniQua, Refsgaard, 2001), ktoré sa zameriavajú na porovnanie skúseností v oblasti modelovania a na harmonizáciu uvedených príručiek v rámci Európy, ako aj v rámci jednotlivých oblastí modelovania.

Smernice na zabezpečenie kvality spĺňajú špecifické požiadavky z hľadiska ozrejmenia postupov modelovania a odporučení pre jasné aktivity modelovania. Vyplýva z nich však aj to, že istá časť modelovania je stále založená na skúsenostiach modelujúceho, jeho intuícii a tvorivosti. Tieto schopnosti nikdy nemôžu byť nahradené žiadnymi smernicami, takže mnohé detaily práce s modelmi nemôžu smernice zabezpečenia kvality zahŕňať. Smernice na zabezpečenie kvality by mali slúžiť prinajmenšom na štandardizáciu postupov práce s modelmi a spracovania údajov, zadefinovanie minimálnych požiadaviek na údaje pre rôzne účely modelovania, zadefinovanie minimálnych požiadaviek a funkčnosti matematických modelov (schematizácia, použité rovnice, pomocné výpočty, prezentácia výsledkov), definovanie možných postupov pri kalibrácii a overení modelu a pri odhade presnosti výsledkov modelovania.

4.2 Hodnotenie situácie na Slovensku

U nás sa zatiaľ modely v úlohách súvisiacich s integrovaným manažmentom povodí dostatočne neuplatňujú, modelovacie postupy sa vo vodnom hospodárstve síce využívajú sektorálne pri riešení parciálnych problémov, ale nezahŕňajú problematiku v celej komplexnosti. Tieto nástroje sa využívajú v aplikovanom výskume, špičkových pilotných štúdiách a v rámci zahraničných projektov, ale nie sú bežnou súčasťou vodohospodárskej praxe ani v plánovacom procese a ani v operatívnom riadení. Je zrejmé, že doterajšie práce na implementácii RS EÚ si nasadenie takýchto nástrojov nevyžadovali, no realizácie metodík kapitol RS si ich vyžadovať bude. Rovnako sa bez nich nezaobídeme pri integrácii krajinného plánovania a hospodárenia s vodou, keď bude nevyhnutné vedieť kvantitatívne odhadovať dopady rozvojových koncepcií a spôsobov využívania krajiny na stav vôd.

Ani pri aplikácii modelovacích nástrojov sa u nás nedá hovoriť o koordinácii alebo riadení podmienok ich nasadenia. Manažment kvality modelovania nie je zatiaľ pojem, ktorý by sa pri ich doterajšom nasadení uplatnil. V tejto súvislosti je potrebné si uvedomiť, že modely sú v istých súvislostiach používané ako analytické nástroje na hodnotenie stavu vodného prostredia a jeho zmien rovnako ako chemické alebo biologické laboratórne postupy. Ich výstupy zaujímajú v procese plánovania a riadenia podobné postavenie ako napr. výstupy chemických analýz a biologických prieskumov (i keď sa jedná väčšinou o rádovo rozdielne presnosti, prípadne časové a priestorové rozlíšenia). V prípade chemických laboratórií je však hodnotenie ich kvality bežných javom, resp. akceptovanou nutnosťou. Táto tendencia sa v zahraničí už uplatňuje aj pri používaní matematických modelov vo vodnom hospodárstve. Je to prirodzené, pretože s ohľadom na existenciou veľkého množstva modelovacích koncepcií (najmä v hydrológii) je potrebné riadiť podmienky ich používania, aby boli dosiahnuté porovnateľné a interpretovateľné výsledky.

5. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA VYUŽITIA NASTROJA IMP NA POVODÍ HORNÉHO HRONA

V tejto časti ako príklad využitia modelovacieho nástroja v integrovanom manažmente vodných zdrojov v povodí opisujeme aplikáciu fyzikálne orientovaného zrážkovo-odtokového modelu s rozčlenenými parametrami pre analýzu vplyvu možných zmien vo využívaní územia na odtokové procesy. Zamerali sme sa na hodnotenie odtoku zo zrážok a topenia snehu na povodí horného Hrona a zmenu spôsobu využívania územia sme vyjadrili rôznymi scenármi, pri ktorých sme simulovali a porovnávali zmeny odtoku oproti súčasnému stavu (Szolgay, a kol., 2004). Dôraz sme pritom kládli na porovnanie zmien objemu odtoku a jeho zložiek, zmien extrémnych fáz odtoku a zmien priestorového rozloženia odtoku a jeho zložiek na povodí.

5.1 Opis zrážkovo-odtokového modelu s rozčlenenými parametrami

Pri tvorbe zrážkovo-odtokového modelu sme vychádzali zo štruktúry fyzikálne orientovaného modelu WetSpa (Wang a kol., 1996), ktorého zložky a programovú štruktúru sme upravili tak, aby bol vhodný na modelovanie odtoku zo zrážok a topenia snehu na povodí horného Hrona (Szolgay a kol., 2004). Fyzikálne orientovaný zrážkovo-odtokový model s rozčlenenými parametrami rozdeľuje povodie štvorcovou sieťou na rovnomerné priestorové jednotky, v ktorých počíta hydrologickú bilanciu a simuluje pohyb vody do záverečného profilu povodia. Jednotlivé zložky hydrologickej bilancie tvoria tekuté a tuhé zrážky, intercepcia, pôdna vlhkosť, infiltrácia, aktuálna evapotranspirácia, povrchový odtok, podpovrchový odtok a podzemný odtok. Transformácia povrchového odtoku v povodí sa simuluje na základe difúznej vlny a hydraulických charakteristík prúdenia vody na svahoch a v riečnej sieti. Výpočet podpovrchového odtoku vychádza z Darcyho zákona a metódy kinematickej vlny. Základné vstupy do modelu tvoria rastrové digitálne vrstvy (digitálny model reliéfu, mapa využitia územia a mapa pôdnych druhov) a hydrologické a klimatické vstupné údaje v dennom alebo hodinovom kroku. Okrem rozsiahleho množstva fyzikálne orientovaných parametrov, odvodených na základe fyzicko-geografických vlastností povodia, vstupuje do modelu 11 globálnych parametrov, ktoré sú kalibrovateľné.

Model bol nakalibrovaný a validovaný na povodí horného Hrona po Banskú Bystricu v dennom kroku pre vybrané časové úseky z disponibilného obdobia 1981-2000. Miera zhody medzi meranými a simulovanými priemernými dennými prietokmi bola posudzovaná koeficientom Nash-Sutcliffe, ktorého dosiahnutá hodnota pre celé 20-ročie bola 0,732.

5.2 Scenáre zmeny využívania územia na povodí horného Hrona

Na vyjadrenie zmien vo využívaní územia na povodí horného Hrona sme vytvorili niekoľko scenárov, za predpokladu ktorých sme simulovali odtok zo zrážok a topenia snehu v dennom kroku pre obdobie 1981-2000. Zmeny odtoku sme vyhodnotili porovnaním simulovaných priemerných denných prietokov a ich štatistických charakteristík pre súčasný stav využitia územia a scenáre zmeny využitia územia, ako aj priestorovo v podobe máp. Vo vyhodnocovaní zmien sme sa zamerali aj na zmeny jednotlivých zložiek odtoku, ktoré tvorí povrchový, podpovrchový a podzemný odtok. Na vyjadrenie zmeny využitia územia sme vytvorili nasledovné scenáre : 1/ prirodzený stav – scenár, ktorý vyjadruje spôsob využitia územia najbližší prirodzenej krajine, takmer celé povodie je zalesnené; 2/ zmena druhovej skladby lesa – spôsob využitia územia, ktorý je možné zrealizovať na povodí pri rešpektovaní súčasného využívania územia (urbanizované územie, orná pôda a pod.); 3/ zatrávnenie lesa – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa zalesnené plochy zmenia na trávnaté porasty; 4/ zmena nepriepustných plôch – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že na urbanizovanom území bude podiel nepriepustných plôch 100 %; 5/ zatrávnenie ornej pôdy – scenár, pri ktorom sa predpokladá, že sa zatrávnia plochy, v súčasnosti využívané ako orná pôda; 6/ zalesnenie kritických hydrotopov – scenár, pri ktorom sa predpokladá zalesnenie území, ktoré predstavujú kritické územia s možnosťou tvorby najväčšieho povrchového odtoku.

5.3 Zhodnotenie výsledkov

Porovnanie zmeny celkového, povrchového, podpovrchového a podzemného dlhodobého priemerného ročného odtoku [mm.rok^{-1}] pre uvažované scenáre zmeny využitia územia oproti súčasnému stavu (za obdobie 1981-2000) je uvedené v tab. 1.

Tab. 1 Zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku [mm.rok^{-1}] a jeho jednotlivých zložiek pre uvažované scenáre zmeny využitia územia oproti súčasnému stavu (za obdobie 1981-2000)

Tab.1 Changes in the long-term mean annual runoff [mm.year^{-1}] and its components for different land use change scenarios as opposed to the reference state (1981-2000 period)

	Povrchový odtok	Podpovrchový odtok	Podzemný odtok	Celkový odtok
	[mm.rok^{-1}]	[mm.rok^{-1}]	[mm.rok^{-1}]	[mm.rok^{-1}]
prirodzený stav	-63.3	-72.2	-0.7	-136.2
zmena skladby lesa	2.7	3.8	1.8	8.3
zatrávnenie lesa	0.6	-4.2	15.2	11.6
zmena nepriepustných plôch	66.3	-3.9	-17.7	44.7
zatrávnenie ornej pôdy	-36.6	1.1	3.2	-32.3
zalesnenie kritických hydrotopov	-2.9	-0.2	-1.8	-4.9

Zo zhodnotenia zmeny odtoku pre jednotlivé scenáre vyplývajú nasledovné závery:

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „prirodzený stav“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že takmer úplné zalesnenie povodia môže spôsobiť výrazné zníženie priemerných denných prietokov. Priemerná ročná odtoková výška sa znížila približne o 140 mm za rok, čo predstavuje rozdiel oproti súčasnému stavu približne o -30 %. Najvýraznejšie z jednotlivých zložiek odtoku sa znížil povrchový odtok, a to o 63 mm za rok (-91 % oproti súčasnému stavu) a podpovrchový odtok, ktorý sa znížil o 72 mm za rok (-53 % oproti súčasnému stavu). Zmena podzemnej zložky odtoku sa pri tomto scenári neprejavila.

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zmena skladby lesa“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že zmena skladby lesa by sa na povodí horného Hrona na zmene odtoku takmer neprejavila. Zmena celkovej priemernej ročnej odtokovej výšky v mm za rok je 8,3 mm, čo je zanedbateľná hodnota. Podobne sa nepatrné zmeny prejavili aj pri jednotlivých zložkách odtoku.

Posúdenie zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zatrávnenie lesa“ oproti súčasnému stavu ukázalo, že pri takomto scenári môže nastať iba mierne zvýšenie celkového odtoku, ktoré sa prejaví v zvýšení priemernej ročnej odtokovej výšky asi o 12 mm (+2,5 %). Zvýšenie celkového odtoku spôsobí najmä zvýšenie podzemného odtoku, a to asi o +15 mm (+6 %). Povrchový odtok sa takmer nezmení a podpovrchový odtok sa zníži asi o -4 mm (-3 %).

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zmena nepriepustných plôch“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že zmena všetkých plôch urbanizovaného územia na nepriepustné plochy môže spôsobiť zvýšenie priemerných denných prietokov na celom povodí. Priemerná ročná odtoková výška sa zvýšila o približne 45 mm za rok, čo predstavuje rozdiel oproti súčasnému stavu približne o +10 %. Najvýraznejšie z jednotlivých zložiek odtoku sa zvýšil povrchový odtok, a to o 66 mm za rok (+96 % oproti súčasnému stavu). Podpovrchový odtok sa pritom nepatrne znížil, a to o -4 mm za rok (-3 % oproti súčasnému stavu) a znížil sa aj podzemný odtok, a to o -18 mm za rok (-7 % oproti súčasnému stavu).

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zatrávnenie ornej pôdy“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že pri tom scenári možno očakávať pokles odtoku, ktorý sa prejavil v poklese priemerných denných prietokov v jednotlivých mesiacoch aj v celom roku, ako aj v poklese priemernej ročnej odtokovej výšky. Celková priemerná odtoková výška sa znížila o 32 mm, čo

predstavuje pokles oproti súčasnému stavu o -7%. Tento pokles spôsobil najmä pokles povrchového odtoku, ktorého priemerná ročná odtoková výška sa znížila o 37 mm (-53 % oproti súčasnému stavu). Ostatné zložky odtoku sa zmenili len veľmi nepatrne.

Z porovnania zmeny priemerných denných prietokov pre scenár „zmena zalesnenie kritických hydrotopov“ oproti súčasnému stavu vyplynulo, že pri tomto scenári sa zmena odtoku takmer neprejavila. Zmeny celkovej priemernej ročnej odtokovej výšky sa prejavili v jej znížení oproti súčasnému stavu asi o 5 mm, čo predstavuje zníženie asi -1 % oproti súčasnému stavu. Uvedené výsledky sú spôsobené tým, že kritické oblasti (vysoké sklony svahov, nepriepustné pôdy) sú na povodí horného Hrona prevažne zalesnené, a preto uvedený scenár je veľmi podobný súčasnému stavu na povodí.

6. ZÁVER

Prezentované výsledky ukazujú na možnosti využitia hydrologického modelovania s priestorovo rozčlenenými parametrami pri analýze odtoku a jeho zmien pri rôznom manažmente povodia, vyjadrenom spôsobom využívania územia. Takýto prístup je možné využiť v integrovanom manažmente povodia, a to najmä pri organizovaní spôsobu využívania povodia a posudzovaní jeho vplyvu na odtokové procesy. Zmena odtoku sa dá vyjadriť porovnávaním priemerných denných, mesačných, ako aj ročných prietokov, ich štatistických charakteristík, ako aj priestorovým rozložením odtoku. Okrem toho je možné zhodnotiť aj zmeny jednotlivých zložiek odtoku – povrchového, podpovrchového a podzemného a zmeny zložiek prvkov hydrologickej bilancie, ako je evapotranspirácia a infiltrácia.

Na druhej strane, pri využívaní výsledkov distribuovaného hydrologického modelovania je potrebné uvedomiť si aj mnohé neistoty uvedeného prístupu, ktoré treba v integrovanom manažmente povodia zohľadňovať. Spoľahlivosť výsledkov modelu veľmi úzko súvisí s disponibilnými vstupnými údajmi, s mierou schematizácie hydrologických procesov v modeli, s parametrizáciou vlastností prostredia v simulovaných fyzikálnych procesoch a s určením dostatočne spoľahlivých fyzikálnych, ako aj kalibrovaných parametrov modelu.

Uvedený prístup predstavuje len časť možností, ktoré v integrovanom manažmente povodí ponúka využitie modelov a integrovaných systémov. S ohľadom na v článku dokumentovaný zahraničný vývoj, existenciu veľkého množstva modelovacích nástrojov v oblasti integrovaného manažmentu povodí by pre zlepšenie situácie na Slovensku bolo v prvom rade potrebné vyjasniť pojem a záber integrovaného manažmentu povodí a legislatívne ho zakotviť, vrátane zodpovednosti jednotlivých organizácií činných vo VH a súvisiacich sektoroch. Ďalej by bolo potrené vybrať okruh nástrojov (modelov) potrebných pre podporu realizácie integrovaného manažmentu, resp. plánovacích procesov vo vodnom hospodárstve a v pilotných povodiach preveriť výpovednú schopnosť týchto nástrojov v našich fyzicko-geografických podmienkach. Pri nasadení modelov alebo nástrojov by bolo vhodné zamerať sa najskôr na nástroje, s ktorými už sú u nás čiastočné skúsenosti, t.j. na zrážkovo-odtokové a hydraulické modely s rozčlenenými parametrami na hodnotenie vplyvu využívania územia na hydrologický režim a na obdobné modely hodnotenia kvality vôd. Následne sa bude treba pripraviť na nasadenie modelov v oblasti integrovaného hospodárenia s vodou na báze povodí, ktoré sa u nás zatiaľ v plánovacom procese vôbec neuplatnili, uskutočniť ich pilotné testovanie pre úlohy, ktoré vyplynú z vyjasnia zodpovednosti a úloh jednotlivých organizácií činných vo vodnom hospodárstve a súvisiacich sektoroch.

Poďakovanie
Autori ďakujú agentúre VEGA za podporu grantu 2/5056/25 a Agentúre na podporu vedy a techniky za podporu projektu APVT-51-017804.

7. LITERATÚRA

Ballweber, J.A. (1995): Prospects for Comprehensive, Integrated Watershed Management Under Existing Law. Water Resources Update, Universities Council on Water Resources, Issue No. 100, 19-23.

Bulkey, J.W. (1995): Integrated Water Management: Past, Present and Future. Water Resources Update, Universities Council on Water Resources, Issue No. 100, 7-18

Deyle, R.E. (1995): Integrated Water Management: Contending With Garbage Can Decision making in Organized Anarchies. Water Resources Bulletin, AWRA, Vol. 31, No. 3, 387-398.

DHI (1996): NAM - MIKE 11. Documentation and User's Guide. Danish Hydraulic Institute, 50 s.

La Jeunesse, I., Rounsevell, M., Vanclooster, M. (2003): Delivering a decision support system tool to a river contract: a way to implement the participatory approach principle at the catchment scale? Physics and Chemistry of the Earth, 28, 547-554.

Mitchell, B., ed. (1990): Integrated Water Management: International Experiences and Perspective, Belhave Press, London.

Refsgaard, J.CH. (2001): HarmoniQuA. State-of-the-Art Report on Quality Assurance in modeling related to river basin management. Contract EVK2-CT201-00097.

Water Strategy Man, EVK1-CT-2001-00098. (2003): Deliverable 10. Report on models, tools and DSS for water management. Progea s.r.o.

Szolgay, J., **Hlavčová, K., Kohnová, S., Kubeš, R., Zvolenský, M., Papánková, Z., Horvát, O.** (2004): Analýza možných zmien odtoku zo zrážok a topenia sa snehu na povodí rieky Hron vplyvom využívania územia a jeho retenčných vlastností. Záverečná správa. SvF STU, Bratislava, 132 s.

Thomas, J. S., Durham, B. (2003): Integrated Water Resource Management: looking at the whole picture. Desalination, 156, 21-28.

Van Waveren, R.H., Groot, S., Scholten, H., Van Geer, F.C., Wösten, J.H.M., Koeze, R.D. and Noort, J.J. (2000): Good Modelling Practise Handbook, STOWA Report 99-05, Utrecht, RWS-RIZA, Lelystad, The Netherlands. http://waterland.net/riza/aquest

Wang Z., Batelaan, O., De Smedt, F. (1996): A distributed Model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa). Phys. Chem. Earth, 21(3): 189-193.