MODELOVÉ HODNOTENIE ÚČINNOSTI POLDROV A REVITALIZÁCIE INUNDAČNÉHO ÚZEMIA

Ján Szolgay[1], Michaela Danáčová[1], Peter Šúrek[1], Jana Pastorová[1]

Abstrakt

Jedným z aktuálnych spôsobov riešenia protipovodňovej ochrany na aluviálnych tokoch je aj výstavba bočných poldrov (suché retenčné nádrže) a otváranie zahradzovaných inundačných území tokov. Hodnotenie účinnosti týchto opatrení sa stalo predmetom odbornej diskusie aj u nás. Cieľom tohto príspevku je príspevku je zhrnúť výsledky našich predošlých štúdií [pozri napr. 1, 2, 4, 6, 7], a ukázať možnosti ako hodnotiť efektívnosť takýchto alternatívnych spôsobov protipovodňovej ochrany v dolných častiach riek. Potenciál navrhovaného spôsobu hodnotenia ich účinnosti ilustrujeme na príklade riešenia koncepcie protipovodňovej ochrany územia dolnej Moravy. Pre tento účel boli navrhnuté jednoduché koncepčné hydrologické modely sústavy koryta toku, jeho inundácií a plánovaných poldrov. V rámci riešenia bola vykonaná simulácia transformácie radu historických povodňových systémom poldrov a dvomi modelmi koryta toku zodpovedajúcim prírodnému (historickému) a upravenému stavu koryta. Získali sme tak štatisticky reprezentatívny súbor transformovaných povodňových vĺn, na základe ktorých bola vyhodnotená účinnosť oboch opatrení.

Kľúčové slová: polder, povodňový režim, koncepčný hydrologický model, postupová doba

1. Úvod

Protipovodňová ochrana je stálou prioritnou úlohou vodohospodárov a dnes je snahou zintenzívniť hlavne prevenciu. Výskyt povodní vyvoláva nielen obavy v spoločnosti zo straty majetku či ľudských životov, ale i mnohé diskusie ohľadom voľby koncepcie riešenia protipovodňovej ochrany. Na aluviálnych tokoch môže byť riešením zvyšovanie retenčnej schopnosti inundačných území alebo technické opatrenia, prípadne kombinácia týchto dvoch prístupov. Cieľom tohto príspevku je zhrnúť výsledky našich predošlých štúdií [pozri napr. 1, 2, 4, 6, 7] a na základe analýzy zmien povodňového režimu veľkých vôd, ukázať ako sa dá hodnotiť efektívnosť takýchto alternatívnych spôsobov protipovodňovej ochrany v dolných častiach riek pomocou jednoduchých koncepčných modelov.

Príklad takéhoto hodnotenia uvedieme na prípadovej štúdii na dolnej Morave. Prietokové pomery na dolnej Morave sa v minulom storočí značne zmenili v súvislosti s úpravou koryta na tomto území. Dôsledkom týchto zásahov bolo aj zrýchlenie postupu povodňových vĺn riečnymi úsekmi a zníženie transformačného účinku koryta a inundačných území. Následkom čoho sa zvýšilo riziko a frekvencia výskytu extrémnych povodní v poslednom období (napr. leto 1997, leto 2002, jar 2006, leto 2010), čo vzbudilo pozornosť vodohospodárov a verejnosti ako u nás, tak aj v susedných štátoch. Revitalizáciou koryta toku resp. výstavbou bočných poldrov by sa dala časť jeho transformačnej schopnosti prinavrátiť do stavu blízkeho pôvodnému.

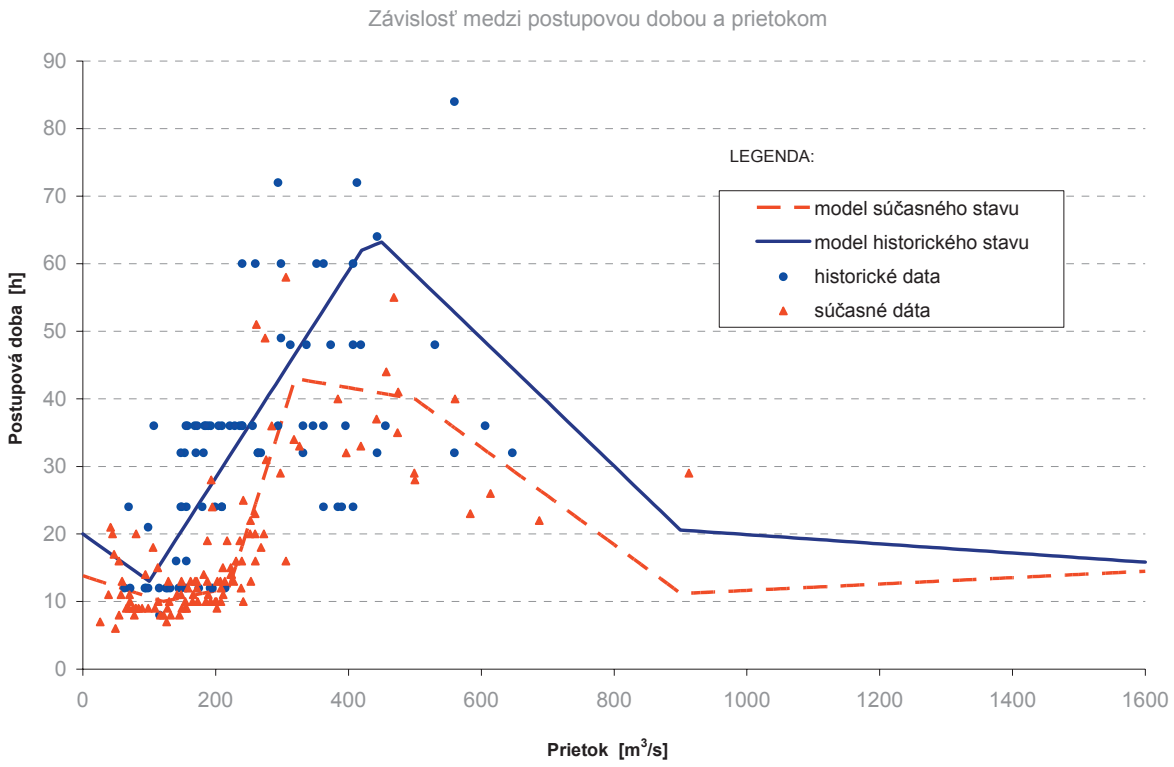
2. Zmeny povodňového režimu na dolnom úseku Moravy

Činnosť vodohospodárov na dolnej Morave v minulom storočí prispela ku zmene povodňového režimu. Pri úpravách koryta a zmenách trasy toku došlo taktiež ku zmene celkovej retenčnej kapacity inundačného územia. Tieto zmeny ovplyvnili transformačný účinok koryta a inundačných území a zrýchlil sa tak postup povodňových vĺn. Toto zrýchlenie tu dokumentujeme analýzou postupových dôb vrcholov povodňových vĺn z obdobia pred rozsiahlymi úpravami koryta a po nich, podrobnejší popis je uvedený napr. v [7].

Podkladové údaje pre štúdiu [7] boli získané z archívov SHMÚ, VITUKI Budapešť a Katedry vodného hospodárstva Technickej univerzity vo Viedni. Boli získané všetky dostupné denné a hodinové prietoky na všetkých vodomerných staniciach na toku Morava z obdobia 1923 až 2002, denné a dvanásťhodinové vodné stavy z obdobia 1901-1916, súčasné merné krivky prietokov a historické merné krivky z obdobia 1886-1920, údaje o hydrometrovaniach na slovenskom úseku Moravy z obdobia okolo roku 1900, hydrologické podklady pre projektovanie úpravy koryta z prelomu predminulého storočia vrátane pozdĺžnych profilov viacerých hladín a záplavových čiar. Ďalej boli k dispozícii kulminačné prietoky 80tich maximálnych ročných prietokov z minulého storočia.

Po prvotnej analýze zmien inundačného územia a dostupnosti hydrologických dát, bol pre riešenie úlohy vybraný úsek medzi vodomernými stanicami Moravský Svätý Ján (5040) – Záhorská Ves (5085). Dĺžka toku medzi stanicami je 34,76 km, sklon toku je 0,2 ‰. Iné úseky museli byť vylúčené v dôsledku krátkeho resp. prerušovaného časového radu hydrologických údajov ako i pre nedostatok údajov (podkladov) z historického obdobia.

Na základe výberu vodomerných staníc došlo k ďalšiemu spracovaniu údajov, ktoré boli použité pre hodnotenie povodňového režimu. Boli overené a rekonštruované merné krivky prietokov a vytvorený časový rad hodinových prietokov vo vodomernej stanici Moravský Svätý Ján z obdobia 1922-1989 (podrobnejší popis rekonštrukcie dát viď v [2]).



Obr. 1: Závislosť medzi postupovou dobou a kulminačným prietokom získaná zo spracovania prietokových vĺn z období 1901 – 1916 a 1992 – 2002 a po častiach lineárne závislosti použité na modelovania koryta v multilineárnom modeli v [7].

Vzťah postupovej doby od vrcholového prietoku povodňových vĺn bol zisťovaný empiricky pre súčasné obdobie i obdobie spred rozsiahlych úprav koryta (ďalej historické obdobie) viz Obr. 1. Porovnanie závislostí medzi postupovou dobou a kulminačným prietokom pre stavy koryta pred a po jeho úprave dobre ilustruje charakter zmien povodňového režimu (zrýchlenie postupu povodní) ale aj fakt, že interakcia akumulačnej funkcie inundačného

územia a povodňovej vlny je hydraulicky zložitý jav. Miera transformácie povodní s rovnakým kulminačným prietokom je silne premenlivá a závisí ako od sezóny a stavu inundačného územia tak aj od tvaru povodňovej vlny.

3. Hodnotenie účinnosti protipovodňových opatrení

3.1 Koncepčný model poldra resp. sústavy poldrov

V rámci riešenia projektu AVPT „Ochrana revitalizáciou: Stratégia a manažment riečneho systému dolnej Moravy“ sa vykonávalo aj modelové hodnotenie účinnosti bočných poldrov na zníženie kulminačných prietokov. Boli navrhnuté tri umiestenia poldrov na slovenskej strane v lokalitách Moravský Svätý Ján, Gajary a Záhorská Ves [3]. Ich výber vychádzal z topografických podmienok a zo súčasného využitia územia. Snahou bolo, aby periodickým zaplavovaním boli čo najmenej ohrozené objekty infraštruktúry, poľnohospodársky využívaná pôda, priemyselné objekty a ekologicky cenné lokality. Prihliadalo sa tiež na to, aby boli minimalizované investičné náklady na výstavbu poldrov a preto ich hranice z veľkej časti tvoria už existujúce líniové stavby (ľavostranná ochranná hrádza Moravy, cestné komunikácie, železnica) a využívajú sa prirodzené terénne depresie.

Približné objemy poldrov v uvažovaných lokalitách, ktoré boli vyhodnotené z digitálneho modelu reliéfu na slovenskej strane Moravy sú nasledovné:

– polder Moravský Sv. Ján – 4 mil. m^3,

– polder Gajary – 8 mil. m^3,

– polder Záhorská Ves – 17 mil. m^3.

Rakúskymi riešiteľmi podobnej úlohy boli na dolnej Morave navrhnuté ďalšie dva poldre v lokalitách Hohenau a Drősing. Ich umiestnenie vychádzalo tiež z topografických podmienok a za predpokladu už spomínaných požiadaviek. Približné objemy poldrov v rakúskych lokalitách sú nasledovné:

– polder Hohenau – 7,5 mil. m^3,

– polder Drősing – 33,5 mil. m^3.

Pre hodnotenie účinnosti týchto sústav poldrov bol v [2] navrhnutý jednoduchý koncepčný model, lebo použitie detailných hydraulických modelov nebolo pre daný účel vhodné. Navrhnutý model poldra má nasledovné vlastnosti:

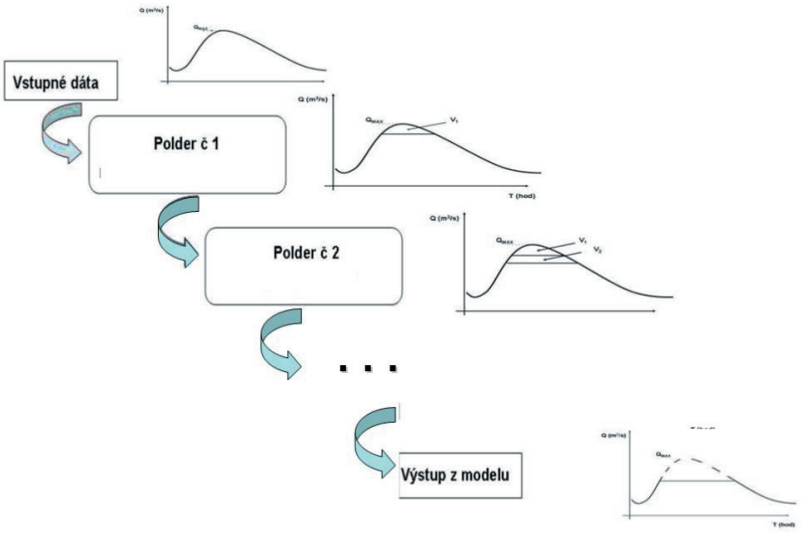
– zanedbávajú sa hydraulické vlastnosti napúšťacieho a vypúšťacieho objektu,

– uvažuje sa s dokonalou manipuláciou účinnosťou regulačných objektov pri napúšťaní a vypúšťaní poldra,

– počíta sa s existenciou ideálnej predpovede prietoku pri povodňových situáciach,

– pri simulácii transformácie jednotlivých povodňových vĺn sa uvažuje s prázdnym poldrom.

Model sústavy poldrov simuluje ideálne zníženie vrcholu povodňovej vlny využitím zmenšenia objemu vlny objemom jednotlivých poldrov. Uvažuje s možnosťou zohľadnenia využitia vplyvu bočného prítoku medzi jednotlivými poldrami a transformácie koryta medzi poldrami. Funkciu poldrov v modely ilustrujeme na obrázku 2 a podrobnejšie popisujeme v [2].



Obr. 2: Ukážka simulácie prechodu povodňovej vlny jednoduchým modelom sústavy poldrov

Pre hodnotenie účinnosti navrhovaných poldrov na zmenu povodňového režimu sme použili simuláciu transformácie radu 80 najväčších ročných povodňových vĺn z obdobia 1923-2002, pretože je známe, že tvar (priebeh a objem) jednotlivých povodňových vĺn má zásadný vplyv na účinnosť ich transformácie počas prechodu poldrom [1].

3.2 Multilineárny model transformácie povodňových vĺn

Používanie lineárnych hydrologických transformačných modelov v riečnych úsekoch s premenlivou postupovou dobou prietokov je problematické aj vzhľadom k tomu, že tieto modely implicitne predpokladajú konštantnú postupovú dobu prietokov. Riešením tohto problému je aj používanie multilineárnych modelov, teda niekoľkých lineárnych modelov odpovedajúcich rôznym odtokovým situáciám. Tento princíp sme aplikovali aj napr. v štúdiách na Hrone [7] a Dunaji [4]. Riečny úsek sa modeluje kaskádou *n* rovnakých lineárnych nádrží zapojených v sérii s časovou konštantou *k*. Každá nádrž mimo prvej má okrem prítoku z hornej nádrže ešte samostatný (bočný) vstup I_i. Vstupy do modelu sa považujú za konštantné počas vzorkovacieho intervalu *(a, a+1)* o dĺžke *T*. Vychádzajúc z rovnice kontinuity a statickej relácie lineárnej nádrže formuloval stavové rovnice modelu Szolgay [5]. Zmenu časovej konštanty *k* je možné viazať na charakteristické zmeny prúdenia, ako vybreženie do inundácií, na zmenu postupovej doby s prietokom a podobne. V prípade, že bude viazaná na vstup do modelu, je celkový model pozostávajúci zo série lineárnych modelov nelineárny. Spôsob identifikácie multilineárneho modelu, ktorý sa používa, je viazať zmenu parametra *k* priamo na zmenu postupovej doby charakteristických bodov hydrogramu [5].

Pre účel modelového hodnotenia zmien povodňového režimu v dôsledku vylúčenia inundačného územia úpravami koryta boli pre potreby multilineárneho modelovania transformácie povodní vytvorené dva jednoduché empirické modely závislosti medzi postupovou dobou vrcholu povodí a kulminačným prietokom, ktoré pozostávali z viacerých úsečiek. Pre oba stavy koryta ich tiež uvádzame na obrázku 1. Jednotlivé lomové body týchto modelov sa určili subjektívne na základe hodnôt vybrežovacieho prietoku (cca 220 $m^3.s^{-1}$) a boli modifikované metódou pokus-omyl na základe výsledkov transformácie prietokových vĺn použitých pri ich odvodení [7].

3.3 Štatistické porovnanie protipovodňových opatrení

Pre štatistické hodnotenie účinnosti protipovodňových opatrení boli vybrané prietokové vlny prislúchajúce k maximálnym ročným kulminačným prietokom v reprezentatívnom období 1923-2002. Potreba použitia dlhého časového radu vychádzala z faktu, posúdenie zmeny povodňového režimu na jednej návrhovej povodňovej vlne, ako je to obvyklé pri návrhu poldrov v SR nie je výpovedné z hľadiska zmien povodňového režimu [1] .

Hodnotenie zmeny prechodu povodní bolo vykonané v nasledujúcich krokoch:

– simulácia transformácie série 80 prietokových vĺn oboma modelmi koryta a následné štatistické hodnotenie zmien transformácie povodní v dôsledku úpravy koryta,

– simulácia transformačného účinku alternatívnych sústav poldrov na sérii 80 vĺn a následné štatistické hodnotenie zmien transformácie povodní.

Modelové hodnotenie účinnosti navrhovaných poldrov na dolnej Morave sa vykonalo v troch základných alternatívach, keď sa hodnotili návrhy sústavy poldrov:

– na slovenskej strane,

– na rakúskej strane,

– na oboch brehoch.

Na odhad N-ročných hodnôt maximálnych prietokov sa aplikovala metodika DVWK (1999) (pozri napr. v [2], [7]). Z troch najvhodnejších teoretických rozdelení bolo na základe testov v tejto metodike vybrané Weibullovo rozdelenie pravdepodobnosti 3. typu. Následne boli výsledky porovnané. V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené hodnoty prietokov znížených napustením sústavy poldrov a hodnoty prietokov získané simuláciou historického koryta.

V tabuľke 1 sú výsledky odhadu N-ročných maximálnych prietokov pre vodomernú stanicu Záhorská Ves slovenskou sústavou poldrov pre ich rôzne kombinácie.

Tab. 1: Odhad N-ročných maximálnych prietokov v modelovanom úseku (Moravský Sv. Ján - Záhorská Ves) slovenskou sústavou poldrov

Odhad Q_N ($m^3.s^{-1}$)	Doba opakovania N (roky)						
	2	5	10	20	25	50	100
Po simulácii poldra (1)	455	716	889	1050	1100	1250	1390
Po simulácii poldrami (1+2)	407	662	834	996	1050	1200	1350
Po simulácii poldrami (1+3)	382	632	801	960	1010	1160	1300
Po simulácii poldrami (2+3)	371	619	786	943	992	1140	1280
Po simulácii poldrami (1+2+3)	371	618	782	935	982	1130	1260

Označenie poldrov : Moravský Sv. Ján (1), Gajary (2), Záhorská Ves (3)

Tab. 2: Odhad N-ročných maximálnych prietokov v modelovanom úseku (Moravský Sv. Ján – Záhorská Ves) rakúskou sústavou poldrov

Odhad Q_N ($m^3.s^{-1}$)	Doba opakovania N (roky)						
	2	5	10	20	25	50	100
Po simulácii poldra Hohenau (4)	425	684	858	1020	1070	1220	1370
Po simulácii poldra Drösing (5)	355	599	765	920	968	1110	1260
Po simulácii poldra poldrami (4+5)	339	578	740	893	940	1080	1220

Označenie poldrov: Hohenau (4), Drösing (5)

Z výsledkov vyplýva, že najúčinnejšia je kombinácia poldrov Gajary a Záhorská Nová Ves. Z porovnania taktiež vyplýva, že pri použití všetkých troch poldrov sa dosiahol pri storočnom prietoku zníženie len o 20 $m^3.s^{-1}$ väčšie, ako pri prevádzke dvoch poldrov Gajary a Záhorská Ves. Podobne sa vykonalo hodnotenie sústavy na rakúskej strane toku, kde pri hodnotení sa tiež uvažovalo s účinnosťou jednotlivých poldrov zvlášť a spolu (Tab. 2). Z ďalších možností hodnotenia účinností kombinácií najvýhodnejšie vychádza možnosť výstavby poldrov Drösing a Záhorská Ves. Ide o najobjemnejšie poldre z rakúskej a slovenskej strany, ktoré sú zaujímavé i z hľadiska ich umiestnenia (Tab. 3).

Tab. 3: Odhad N-ročných maximálnych prietokov v modelovanom úseku (Moravský sv. Ján – Záhorská Ves) oboma sústavami poldrov, kombinácia

Odhad Qn ($m^3.s^{-1}$)	Doba opakovania (roky)						
	2	5	10	20	25	50	100
Po simulácii poldra (1)	455	716	889	1050	1100	1250	1390
Po simulácii poldra poldrami (1+4)	422	676	843	998	1050	1190	1330
Po simulácii poldrami (1+4+5)	342	580	739	887	933	1070	1210
Po simulácii poldrami (1+4+5+2)	325	551	715	880	923	1060	1200
Po simulácii poldrami (1+4+5+2+3)	298	516	678	843	894	1060	1200
Po simulácii poldrami (5+3)	331	567	726	875	921	1060	1200

Následne boli vybrané výsledky porovnané v tabuľke 4 s N-ročnými prietokmi získanými simuláciou účinku historického koryta [7], ktoré simuluje úplné otvorenie pôvodných inundácii popri toku. Simulácia bola realizovaná multilineárnym transformačným modelom na základe analýzy prechodu prietokových vĺn korytom prostredníctvom vzťahu medzi postupovou dobou a veľkosťou kulminačného prietoku pre oba stavy koryta.

Tab. 4: Odhad N-ročných maximálnych prietokov v modelovanom úseku v Záhorskej Vsi

Odhad Q_N ($m^3.s^{-1}$)	Doba opakovania N (roky)						
	2	5	10	20	25	50	100
Slovenská úplná sústava poldrov	361	618	782	935	982	1130	1260
Rakúska úplná sústava	339	578	740	896	940	1080	1220
Obe sústavy spoločne	298	516	678	843	894	1060	1200
Historický stav koryta	450	704	875	1040	1090	1240	1380

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že z hľadiska zníženia N-ročných prietokov by mohla byť výstavba uvažovaných poldrov účinnejšia v porovnaní možnou úplnej revitalizáciou toku. Toto sa však dá tvrdiť len za predpokladu, že budeme mať k dispozícii kvalitné predpovede prietokov v danom úseku a ideálnu manipuláciu na objektoch poldrov. Treba poznamenať, že reálna účinnosť poldrov bude vždy nižšia ako tu uvažovaná, na druhej strane k úplnej revitalizácii pôvodných inundačných prietokov tiež nemôžeme pristúpiť. Prezentovaná metodika však najmä ukazuje s akými hodnotami zníženia N-ročných prietokov môžeme reálne uvažovať, čo sa dá využiť pri rozhodovaní či a ako s nimi uvažovať v porovnaní napr. so zvyšovaním protipovodňových hrádzí.

4. Záver

Cieľom tejto práce bolo zhrnúť doterajšie výsledky pri riešení problémov účinnosti koncepcií protipovodňovej ochrany na dolnej Morave. Nemali sme za cieľ hľadanie optimálnych závislosti medzi postupovou dobou a prietokom a podať vyčerpávajúcu kvantifikácia účinnosti pôvodného inundačného územia a plánovaných poldrov, ale najmä prezentovať vývoj a overenie metodiky riešenia a náčrt teoretického potenciálu jednotlivých riešení.

Dosiahnuté výsledky ukázali priechodnosť navrhovanej metodiky. Podarilo sa preukázať, že koncepcia multilineárneho modelu je použiteľná pre transformáciu povodňových vĺn aj na dolnej Morave. Parametrizácia modelu pomocou množiny lineárnych závislostí medzi postupovou dobou a prietokom sa ukázala ako spoľahlivá metóda, čo potvrdila verifikácia modelu ako pre súčasný, tak aj pre historický stav koryta. Prvotné porovnania rozdielnosti transformácie vybraných prietokových vĺn zo súčasného obdobia preukázali známy fakt, že pri rozvinutej inundácii sa postup vĺn spomaľuje a kulminácia znižuje. Po následnom spracovaní dostatočného počtu modelových situácii bola vykonaná podrobnejšia štatistická analýza zmien povodňového režimu v dôsledku úpravy toku, ktorá je už použiteľná aj na hodnotenie účinnosti vytvorenia umelých inundačných území (poldrov), pre ktorú sme tiež navrhli jednoduché riešenie.

Poďakovanie

Článok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] BAČÍK, M. – SZOLGAY, J. – KOHNOVÁ, S. – OPATOVSKÁ, G., 2002. Vplyv tvaru povodňovej vlny na účinnosť poldra. In: *Vodohospodársky spravodajca*, Roč. 45, č. 6.

[2] KOVÁČ, P. – DANÁČOVÁ, M. – SZOLGAY, J., 2006. Hodnotenie účinnosti poldrov navrhovaných na dolnej Morave, ÚH SAV – Acta Hydrologica Slovaca, Ročník 7, No. 2, 252 – 259. ISSN 1335-6291.

[3] LUKÁČ, M. – HOLUBOVÁ, K. – MRAVCOVÁ, K., 2005. Alternatívne riešenie protipovodňovej ochrany dolnej Moravy. Hydrologické dni, s. 730-742.

[4] MITKOVÁ, V. – KUBEŠ, R. – SZOLGAY, J. – PEKÁROVÁ, P., 2004. Simulácia transformácie historických povodňových vĺn Dunaja z roku 1899 a 1954 v úseku Kienstock – Bratislava za súčasných odtokových pomerov. ÚH SAV – Acta Hydrologica Slovaca, Ročník 5, No.1, s. 43-52. ISSN 1335-6291.

[5] SZOLGAY, J., 1981. Adaptívne modely v hydrologických predpovediach. [Kandidátska dizertačná práca]. Bratislava, UHH SAV. 130 s.

[6] SZOLGAY, J. – KUBEŠ, R., 2005. Multilineárny model transformácie prietokov v korytách tokov. In: *Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny* (Pekárová a kol.), s. 170–215.

[7] SZOLGAY, J. – DANÁČOVÁ, M. ,2006. Hodnotenie zmien v transformácii prietokových vĺn na dolnej Morave z údajov obdobia 1922-2002, Acta Hydrologica Slovaca, Ročník 7, No. 2, 2006, s. 252 – 259, ISSN 1335-6291.

Kontakty na autora

1 Stavebná fakulta, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Bratislava, e-mail: jan.szolgay@stuba.sk, michaela.danacova@stuba.sk, peter.surek@stuba.sk, jana.pastorova@stuba.sk