TRANSFORMÁCIA POVODŇOVEJ VLNY NA VYBRANOM ÚSEKU TOKU MORAVY

Michaela Danáčová

Na transformáciu povodňových vĺn v koryte toku na vybranom úseku toku Morava medzi Moravským Svätým Jánom a Záhorskou Vsou sa použil multilineárny model založený na časovej distribúcii modelových vstupov v kaskáde lineárnych nádrží. Lineárne submodely sú založené na rozšírení klasickej schémy modelu Kalinin-Miljukov. Riečny úsek sa modeloval kaskádou n rovnakých lineárnych nádrží s časovou konštantou k. Parameter časovej konštanty k je možno meniť vzhľadom na empiricky odvodené vzťahy medzi rýchlosťou vrcholov povodňovej vlny a prietokom. Model transformácie prietokových vĺn nebol priamo kalibrovaný. Kalibrované boli závislosti medzi postupovou dobou (rýchlosťou) vrcholov hydrogramov prietokových vĺn a vstupným prietokom do riečneho úseku pre obidva stavy koryta. Multilineárny model bol verifikovaný na významných povodňových vlnách na základe lineárnych závislostí postupovej doby od prietoku. Overenie bolo ako na historickej tak aj súčasnej prietokovej vlne. Prvotné porovnania rozdielnosti transformácie vybranej významnej povodňovej vlny preukázali známy fakt, že pri rozvinutej inundácii sa postup vĺn spomaľuje a kulminácia znižuje. Výsledky ukazujú, že bez porušenia jednoduchosti lineárneho modelu inklúzia dodatočnej empirickej informácie a premenlivosti rýchlosti vlny dovoľuje lepšiu predpoveď vývoja procesu povodne a kvantifikáciu vplyvov revitalizácie.

Kľúčové slová: prietoková vlna, kulminačný prietok, postupová doba, merná krivka prietokov

The discrete cascade of linear reservoirs is used to build a multilinear model based on the time distribution scheme of model inputs on the Morava River between Moravský Svätý Ján and Záhorská Ves. The linear sub-models are based on the discrete state space representation of the Kalinin-Miljukov model. The travel time parameter of the model is allowed to change according to empirically derived relationships between the flood wave speed and inflow to the reach. The performance of the multilinear model was verified on significant flood wave. Travel time discharge relationships were derived not only for the present state of the river but based on historical flood data from the period before extensive river training works took place. The routing of a large flood was performed with routing models referring to both states of the river and the efficiency of the eliminated flood planes on attenuation of the flood peaks was demonstrated. The results show, that without sacrificing the simplicity of the linear model, the inclusion of additional empirical information on the variability of the wave speed enables better prediction of the flood propagation process and the quantification of the effects of river training on the transformation of floods.

Key words: discharge wave, peak flow, travel time, stage discharge curve

---

Úvod

Úpravou koryta toku sa prietokové pomery dolného toku Moravy v minulom storočí značne zmenili. Dôsledkom týchto zásahov je aj zrýchlenie postupu povodňových vĺn riečnymi úsekmi a súčasné zníženie transformačného účinku koryta a inundačných území. Revitalizáciou koryta by sa dala časť jeho transformačnej schopnosti navrátiť do stavu blízkeho pôvodnému. V rámci riešenia projektu APVT - ***Ochrana revitalizáciou: Stratégia a management riečneho systému dolnej Moravy*** **sa** vykonáva modelové hodnotenie účinnosti pôvodného záplavového územia na zníženie kulminačných prietokov. Táto práca nadväzuje na riešenie uvedeného vedecko-výskumného projektu.

Celkovým cieľom riešenia bolo preukázať účinnosť pôvodného záplavového územia dolnej Moravy z hľadiska zníženia kulminačných prietokov pre vybrané významné povodňové vlny. V dôsledku toho boli analyzované súčasné a historické hydrologické podklady a porovnané zmeny vzťahu medzi postupovou dobou a prietokom. Pomocou lineárneho hydrologického modelu transformácie vĺn korytom toku sa skúmala schopnosť koryta transformovať vybrané prietokové vlny. Následne sa porovnali zmeny v transformácii súčasných prietokových vĺn v historickom a v súčasnom stave koryta.

Popis modelu transformácie povodňových vĺn

Popri nelineárnych hydrologických modeloch sa v transformácii prietokových vĺn stále uplatňujú aj lineárne modely. Používanie lineárnych modelov v riečnych úsekoch s premenlivou postupovou dobou prietokov je však problematické vzhľadom k tomu, že tieto modely implicitne predpokladajú konštantnú postupovú dobu. Ako východisko sa javí používanie niekoľkých lineárnych modelov odpovedajúcich rôznym odtokovým situáciám. V štúdiách Szolgay (1985, 1990 a 2003) sa navrhli rôzne parametrizácie takejto schémy. Tento princíp sa aplikujeme aj v tejto práci.

Riečny úsek sa modeloval kaskádou n rovnakých lineárnych nádrží s časovou konštantou k. Každá nádrž má okrem prítoku z hornej nádrže ešte samostatný 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 sa v Szolgay (2003) odvodili stavové rovnice modelu v tvare:

$$\underline{S}(a+1) = \underline{F}(a+1,a)\underline{S}(a) + \underline{G}(a+1,a)\underline{I}(a+1,a) \tag{1}$$

$$\underline{Q}(a+1) = \underline{H}(a+1)\underline{S}(a+1) \tag{2}$$

kde $\underline{S}(a)$, $\underline{S}(a+1)$ je vektor objemov jednotlivých nádrží v čase a a $a+1$,
$\underline{Q}(a+1)$ je výstup zo systému.

Pre prvky systémových matíc $\underline{F}$, $\underline{G}$, platí:

$$F(i,j) = \frac{T^{i-j} e^{-T/k}}{(i-j)!\,k^{(i-j)}} \tag{3}$$

$$G(i,j) = k - \sum_{f=0}^{i-j} \frac{T^{f} e^{-T/k}}{f!\,k^{f-1}} \tag{4}$$

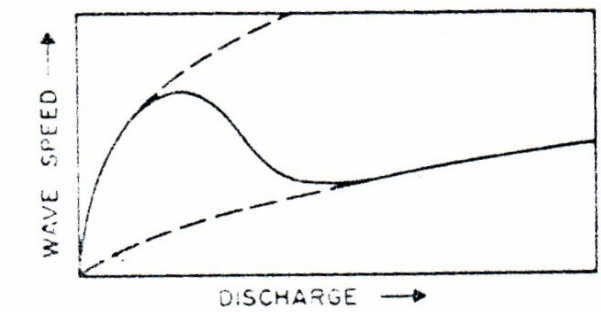
pre i väčšie alebo rovné ako j , inak sú rovné nule.
Matica $\underline{H}$ výstupnej relácie stavového modelu je v danom prípade vektor

$$\underline{H} = [0,0,0,\ldots\ 1/k] \tag{5}$$

Z rovníc modelu (1) a (2) priamo vyplýva, že stav modelu v každom časovom okamžiku obsahuje v sebe celú minulú históriu systému a spolu so vstupom postačuje na určenie stavu v ďalšom časovom kroku. V prípade použitia dvoch modelov s rovnakým rádom n a rozdielnou časovou konštantou k medzi dvoma modelovými časmi je možné jednoducho zostaviť multilineárny model. Požiadavka rovnakého rádu po sebe idúcich modelov nie je vzhľadom na malú citlivosť modelu na voľbu rádu obmedzujúca (Szolgay, 1985). Zmenu časovej konštanty je možné viazať na charakteristické zmeny prúdenia, ako vybreženie do inundácií, na zmenu postupovej doby s prietokom a pod. V prípade, že bude viazaná na vstup do modelu, je celkový model pozostávajúci zo série lineárnych modelov nelineárny.

V modeli, ktorý sa použil v tejto práci, sa viazala zmena parametra k priamo na zmenu postupovej doby charakteristických bodov hydrogramu. Price (1973) (1975) a Wong s Laurensonom (1984 a, b) sa pokúsili teoreticky odôvodniť pozorované zmeny postupovej doby s prietokom. Navrhli rôzne vzťahy, no k uspokojivému vysvetleniu neprišli. Preto navrhli postupovať v každom individuálnom prípade podľa empirických vzťahov zistených na základe analýzy vzťahu postupovej rýchlosti povodňových vĺn a priemerného prietoku v skúmanom úseku. Snažili sa získané body preložiť krivkou, ktorá najlepšie vystihuje správanie c = f(Q). Na základe rozsiahlych štúdií zistili, že postupová rýchlosť podľa nich na tokoch s inundáciami najprv stúpa s rastúcim prietokom, potom

nasleduje prechodná oblasť jej poklesu a následne po zapojení celého inundačného priestoru do odtoku je možný jej opätovný vzrast. Pre tento opísaný priebeh vytvorili všeobecnú grafickú závislosť (Obr. 1).



Obr. 1 Závislosť medzi rýchlosťou a prietokom (Wong a Laurenson (1984))

Experimentálne údaje z našich tokov v minulosti viackrát potvrdili vyššie uvedený priebeh. To sa využilo aj napr. v Szolgay (1985, 1990, 2003) na skonštruovanie viacerých závislosti postupovej rýchlosti charakteristických bodov hydrogramu od prietoku a uvedený princíp bol použitý aj v tejto práci.

Na určenie zhody medzi simulovanými a meranými prietokmi bol použitý Nashov koeficient ako štatistické kritérium vychádzajúce z meraných a simulovaných prietokov:

Nashov koeficient:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{mer(t)} - \overline{Q}_{mer}\right)^2 - \sum_{i=1}^{N}\left(Q_{mer(t)} - Q_{sim(t)}\right)^2}{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{mer(t)} - \overline{Q}_{mer}\right)^2} \qquad (6)$$

kde:
- $\overline{Q}_{mer}$ - aritmetický priemer meraných prietokov ($m^3.s^{-1}$)
- $Q_{sim(t)}$ - simulovaný prietok ($m^3.s^{-1}$)
- $Q_{mer(t)}$ - meraný prietok ($m^3.s^{-1}$)

Spracovanie podkladových údajov

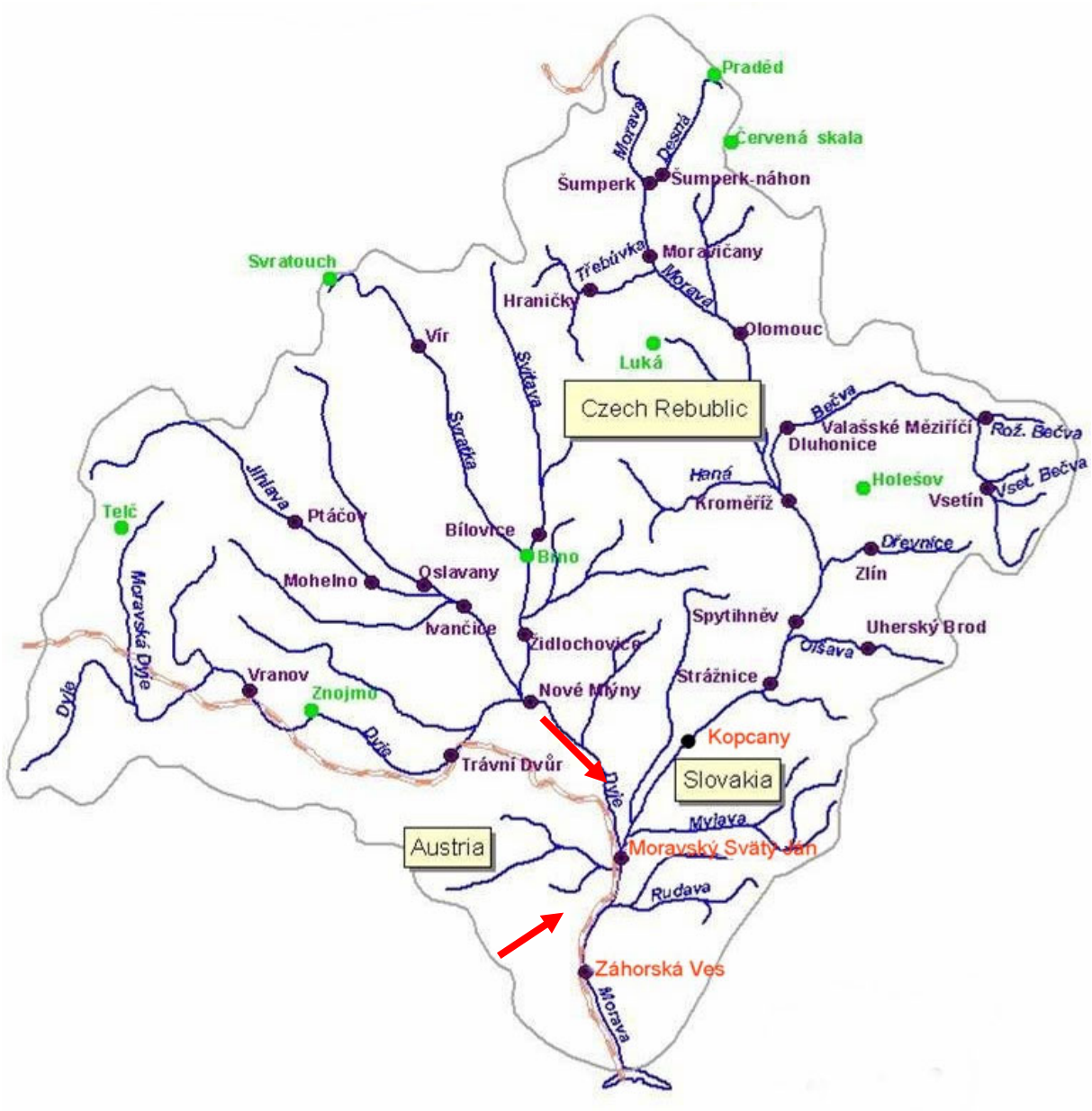
.

Predmetom prvej časti riešenia bola príprava podkladových údajov a kalibrácia modelu transformácie kulminačných prietokov územia dolnej Moravy pomocou hydrologického modelu v historických a súčasných podmienkach.

V riešení bolo potrebné zrekonštruovať historické priebehy povodní, odvodiť závislosti medzi postupovou dobou a prietokom ako pre súčasný, tak aj pre historický stav koryta. Cieľom je preukázať a kvantifikovať, že historické koryto predlžovalo postup povodňových vĺn resp. že úprava koryta urýchľuje prechod povodní.

Údaje boli získané z archívov SHMÚ, VITUKI Budapešť a Katedry vodného hospodárstva Technickej univerzity vo Viedni. Boli získané všetky dostupné hodinové prietoky a vodné stavy na všetkých vodomerných staniciach na toku Morava, denné a dvanásťhodinové vodné stavy z obdobia 1901 - 1916, súčasné merné krivky prietokov a historické merné krivky z obdobia 1886 až 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.

Po prvotnej analýze zmien inundačného územia a hydrologických dát, ktoré mali rôzne časové sledy, bol pre riešenie úlohy vybraný úsek na toku, ktorý mal v minulosti vyvinuté inundačné územie. Ide o úsek medzi vodomernými stanicami Moravský Svätý Ján (5040) – Záhorská Ves (5085) (10-ročný nepretržitý časový rad hodinových údajov). Dĺžka toku medzi stanicami je 34,76 km. Ide o úsek nížinného charakteru, kde sklon toku je 0,2‰. Mapa povodia Moravy s vyznačeným úsekom toku je na Obr.2. Iné úseky museli byť vylúčené z tejto práce v dôsledku krátkeho resp. prerušovaného časového radu hydrologických údajov ako aj pre nedostatok údajov (podkladov) z historického obdobia.



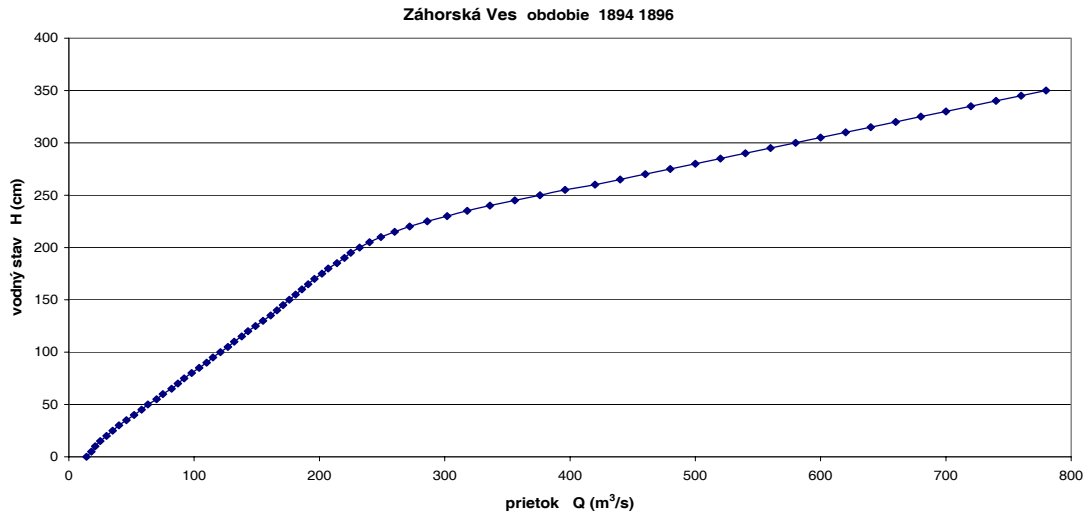
Obr. 2 Mapa povodia Moravy s vyznačeným úsekom toku

V príprave údajov boli vykonané nasledovné práce:

- spracovanie dostupných hodinových a denných vodných stavov a prietokov vo vybranom úseku Moravský Svätý Ján - Záhorská Ves,
- spracovanie historických archívnych materiálov z obdobia 1880 – 1920 z archívov maďarskej hydrologickej služby a okresného archívu v Myjave: vodné stavy, historické merania prietokov a merné krivky prietokov,
- spracovanie archívnych materiálov o vývoji inundačného územia,
- analýza konzistentnosti súčasných údajov a vierohodnosti merných kriviek prietokov,
- analýza konzistentnosti historických údajov a merných kriviek prietokov,
- odhad nemeraných prítokov z medzipovodia k spracovaným povodňovým vlnám pomocou údajov z rakúskej hydrologickej služby a jednoduchého modelu hydrologickej bilancie medzipovodia,
- odvodenie vzťahov medzi postupovou dobou a prietokov pre súčasné a historické obdobie spred úpravy koryta.

Ďalej boli dodatočne v týchto obdobiach získané hodinové prietoky dôležitého prítoku rieky Rudava. Z Rakúska boli získané údaje z významného prítoku Zaya. Chýbajúce údaje o ďalších prítokoch boli odhadnuté hydrologickou analógiou zo špecifického odtoku meraných prítokov a plochy jednotlivých čiastkových povodí, ktoré boli získané z GIS SVP, z literatúry a mapových podkladov. Hydrologická analógia bola preverená a viackrát korigovaná pomocou pozdĺžnej hydrologickej bilancie v úseku a následne aj modelovaním transformácie povodňových vĺn. Zároveň boli preverené súčasné merné krivky, ktoré sme nemuseli meniť.

Historické údaje o veľkých povodniach, historické merné krivky a údaje o denných a dvanásťhodinových vodných stavoch boli taktiež viacnásobne navzájom preverované. Štúdium historických textov ukázalo, že nie všetky údaje o povodiach pochádzajú z meraní, niektoré boli odhadnuté hydraulickým výpočtom. Pozdĺžna hydrologická bilancia a modelovanie transformácie prietokových vĺn tiež poukazovali na možnosť, že historická merná krivka v Záhorskej Vsi nadhodnocuje veľmi vysoké prietoky. Táto hypotéza bola potvrdené aj analýzou záplavových čiar a pozdĺžnych profilov významných historických povodí, ktoré poukázali na výrazný zlom sklonu hladiny v okolí bývalého vodomerného profilu v dôsledku hydraulického pôsobenia viacerých ostrovov v inundačnom území (viď príloha – Obr. 17, 18). Preto bola merná krivka mierne upravená. A to pri vyšších vodných stavoch resp. prietokoch bola znížená, aby už pri vizuálnej kontrole bol konzistentný priebeh prietokov tam, kde bol značný rozdiel medzi priebehom vstupných a výstupných prietokov v danom úseku. Na nasledovnom obrázku (Obr. 3) je uvedená zrekonštruovaná merná krivka pre historický stav.



Obr. 3 Zrekonštruovaná merná krivka pre historický stav koryta

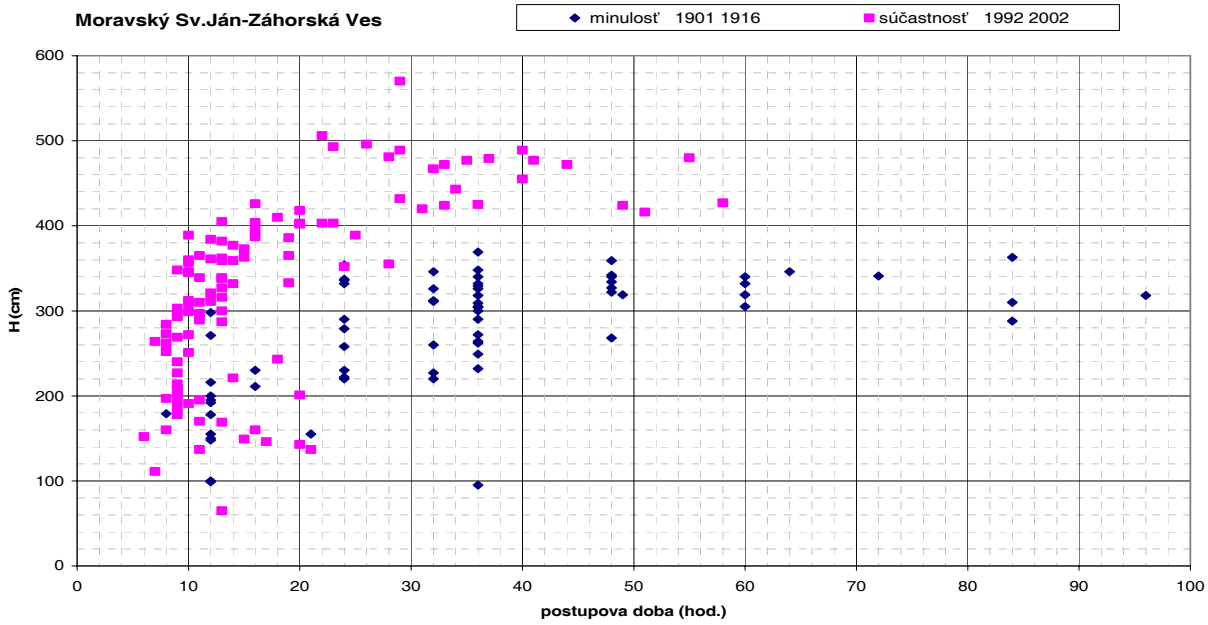
Postup spracovania postupových dôb povodní

V prvom kroku boli vykreslené priebehy vodných stavov v hodinovom, dennom a poldennom kroku vo vybranom úseku. Pre tento úsek bola vytvorená tabuľka, kde sa zaznamenávali jednotlivé prietokové vlny a postupové doby charakteristických bodov hydrogramov. Dôraz sa kládol na vrcholy vĺn, kde sa zaznamenal dátum, čas, vodný stav na vstupe a výstupe, postupová doba, prietok na vstupe, výstupe, aj kulminačný. Následne boli vykreslené vzťahy medzi postupovou dobou a vodným stavom t=f(H) vo vybranom úseku.

Tento vzťah bol pre súčasné údaje pre kontrolu porovnaný so v súčasnosti používaným na SHMÚ. Porovnanie bolo vykonané pre úsek Moravský Svätý Ján (5040) – Záhorská Ves (5085). Dosiahla som podobný vzťah (závislosť), len s rozdielom, že tu som sa zaoberala aj vlnami s kulminačnými vodnými stavmi nižšími ako 300 cm. V mojom prípade v nižších polohách prišlo k výraznejšiemu rozptylu postupovej doby v jednotlivých výškach vodného stavu.

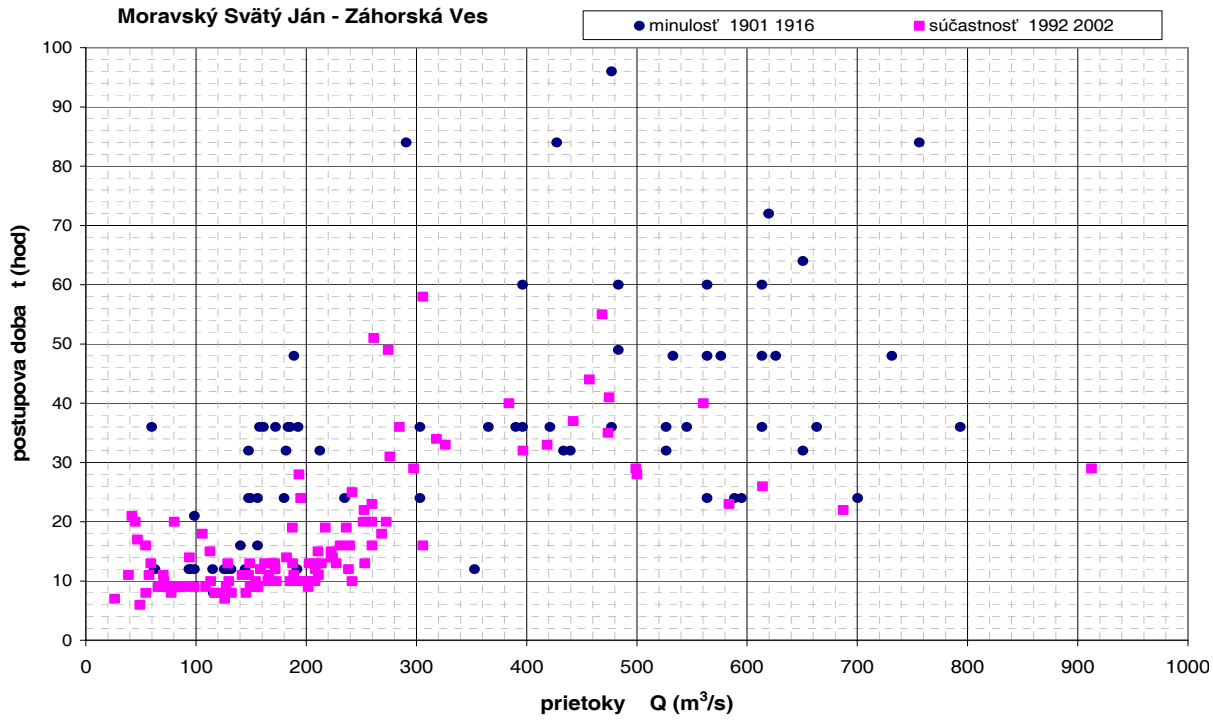
Následne bol vytvorený vzťah medzi rýchlosťou a kulminačným prietokom $c=f(Q_{kul})$ pre vybrané prietokové vlny. Pre historické údaje sa pri zostrojovaní vzťahov muselo obmedziť na obdobia, keď bol používaný dvanásťhodinový časový krok pri meraní vodného stavu, lebo s denným krokom sa v pozorovaní nedalo dosiahnuť potrebné rozlíšenie vzhľadom k postupovým dobám v úseku pri nižších vodných stavoch.

Na nasledovnom obrázku (Obr. 4) sú porovnané postupové doby vrcholov prietokových vĺn zo súčasného a historického stavu koryta v závislosti od vodného stavu, na ďalšom od prietoku. Jasne vidieť, že inundačné územie spomaľovalo postup prietokových vĺn.



Obr. 4 Závislosť postupovej doby vrcholov prietokových vĺn od vodného stavu pre obidva stavy koryta.

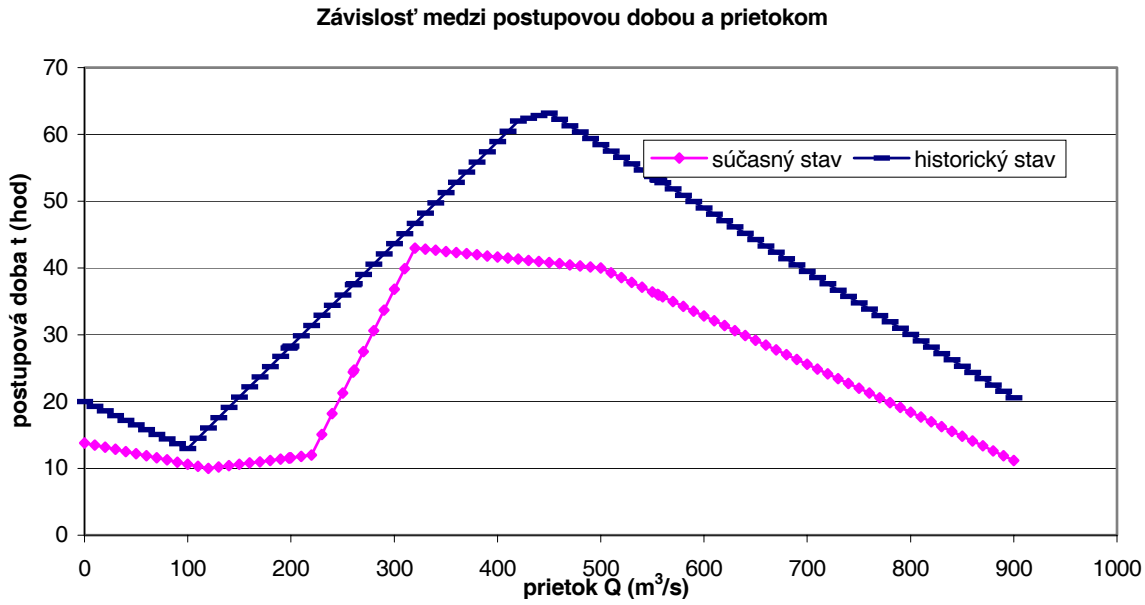
Ďalším dôležitým krokom bolo vykreslenie závislosti postupovej doby od prietoku (Obr. 5) vrcholov vĺn pre súčasné aj historické stavy.



Obr. 5 Závislosť postupovej doby vrcholov prietokových vĺn od prietoku pre obidva stavy koryta

Následne boli vytvorené dva jednoduché modely pre uvedené závislosti. V tejto fáze riešenia sú použité na kalibráciu hydrologického modelu transformácie prietokových vĺn pre súčasný a minulý stav koryta toku, na modelovanie a porovnanie transformácie vybranej prietokovej vlny a kvantifikáciu zmeny transformácie medzi súčasnými a minulými podmienkami koryta. Lineárne závislosti pre rôzne rozsahy prietokov pre obidva stavy koryta uvádzam na Obr. 6.

Treba však poznamenať, že uvedené závislosti sú v celku v súlade so zistením vo svetovej literatúre (Wong a Laurenson 1984). Aj z týchto dvoch modelov je vidieť rozdielne reakcie koryta v minulosti a súčasnosti. Jednotlivé lomy týchto modelov sa vykonali na základe štúdie závislosti postupovej doby vrcholov vĺn od prietoku. Dôležitosť a korektnosť voľby týchto lomov som korigovala aj vzhľadom na vzťah celkovej rýchlosti vrcholov vĺn a prietoku. Model súčasného stavu je zostavený z piatich lineárnych priamok, kde spomínané lomy nastali pri prietoku 120 $m^3.s^{-1}$, 220 $m^3.s^{-1}$, 320 $m^3.s^{-1}$ a 500 $m^3.s^{-1}$. Takto postupným lomeným priebehom som dosiahla najpresnejšiu transformáciu prietokových vĺn. V prvej fáze (7) išlo o mierny pokles postupovej doby v nižších prietokoch, so zvyšujúcim sa prietokom narastal aj čas postupovej doby (8). Dôležitý bod bol približne vo veľkosti vybrežovacieho prietoku cca 220 $m^3.s^{-1}$, kde došlo k prudkému nárastu postupovej doby. Pri veľkosti prietoku 320 $m^3.s^{-1}$ nastala prechodová oblasť (10) sa so zvyšujúcim prietok pozvoľna narastala rýchlosť (11) (znížila sa postupová doba). Krivky historického modelu (12,13,14,15) majú o niečo jednoduchší priebeh. Krivka (12) mala v nízkych prietokoch rastúci trend rýchlosti a krivka (13) mala prudký konštantný nárast postupovej doby až po prietok v hodnote 420 $m^3.s^{-1}$, kde nastala prechodová oblasť po hodnotu 450 $m^3.s^{-1}$. Tu nastal zlom a prišlo ku zrýchleniu priebehu vrcholov prietokových vĺn (14,15), (Obr. 6 a Tab.1).



Obr. 6 Lineárne závislosti postupovej doby vrcholov prietokových vĺn od prietoku pre obidva stavy koryta.

Tab.č.1

stav koryta	rozsah (m^3/s)	rovnica y =t (hod), x = Q($m^3.s^{-1}$)	číslo rovnice
súčasný stav	(0 - 120>	y=-0,0317x+13,8	7
	(120 - 220>	y= 0,2x+7,6	8
	(220 - 320>	y= 0,31-56,2	9
	(320 - 500>	y=-0,0167x+48,331	10
	(500 - 750)	y=-0,072x+76	11
historický stav	(0 - 100>	y=-0,0687x+20	12
	(100 - 420>	y= 0,1531x-2,3155	13
	(420 - 450>	y=0,04x+45,2	14
	(450 - 900>	y=-0,0947x+105,8	15

Modelovanie transformácie vybraných povodňových vĺn pre súčasný a minulý stav koryta

Pre hodnotenie zmeny prechodu povodní bol zostavený matematický model ich transformácie. Modelovanie pozostávalo z nasledujúcich krokov:

- zostavenie multilineárneho modelu transformácie povodňových vĺn, (voľba počtu nádrží „*n*“)
- parametrizácia modelov pomocou závislostí medzi postupovou dobou a prietokom pre súčasný a minulý stav koryta,
- verifikácia modelov pre starý a nový stav koryta na vybranej prietokovej vlne,
- preukázanie zmeny vybranej súčasnej prietokovej vlny dvoma modelmi a hodnotenie zmeny transformácie povodní v dôsledku úpravy koryta.

Voľba počtu nádrží vychádzala zo spomenutého projektu APVT, podľa ktorého sa v tejto práci zvolilo 6 nádrží. Model transformácie prietokových vĺn nebol priamo kalibrovaný. Kalibrované boli závislosti medzi postupovou dobou (rýchlosťou) vrcholov hydrogramov prietokových vĺn a vstupným prietokom do riečneho úseku pre obidva stavy koryta.

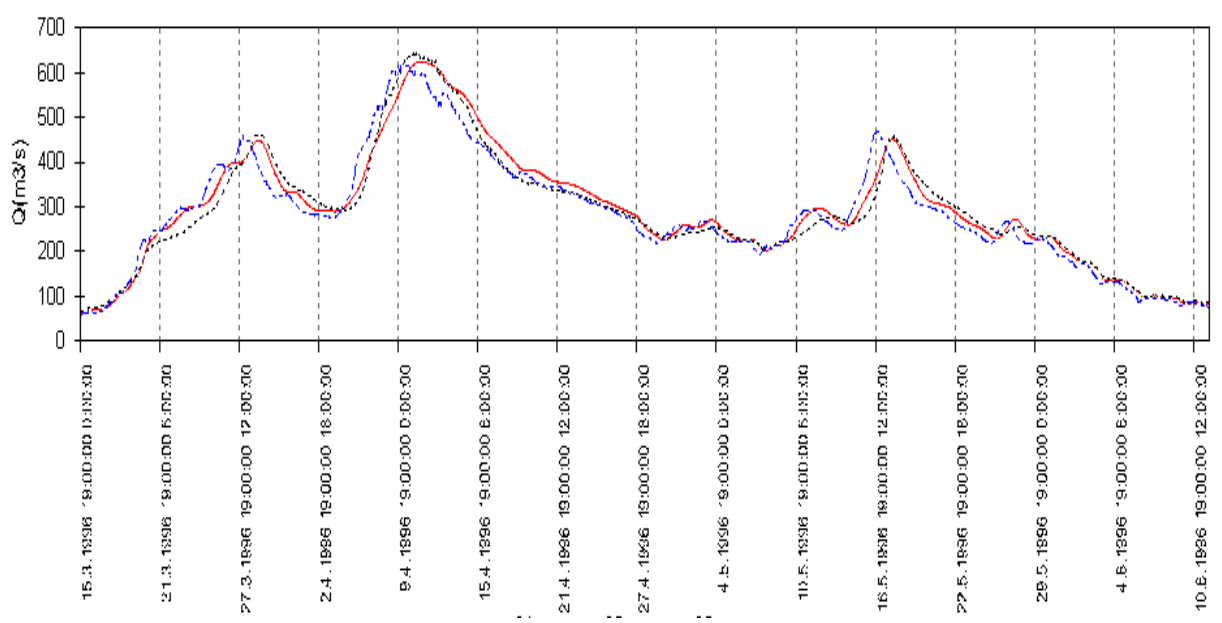
Verifikácia odvodených vzťahov

Pri verifikácii oboch modelov (historický a súčasný stav) sa dosiahli dobré výsledky. Ako príklad na dosiahnuteľnú presnosť transformácie povodňových vĺn uvedeným postupom uvádzam výsledky verifikácie obidvoch modelov (Obr. 7-12) v úseku Moravský Svätý Ján – Záhorská Ves pri transformácii prietokových vĺn z rôznych období a rôznych priebehov za použitia lineárnych vzťahov medzi postupovou dobou a prietokom. Je potrebné poznamenať, že vzhľadom k nezanedbateľnému bočnému prítoku môže byť výstupný prietok vyšší, ako vstupný. Na určenie zhody medzi simulovanými a meranými prietokmi bol použitý Nashov koeficient. V nasledujúcej Tab.č.2 som tento koeficient (ako štatistické kritérium) porovnala medzi mnou získaným vzťahom (verifikácia modelom) a pre optimálne nájdenou konštantou *k* pre jednotlivé prietokové vlny ako pre súčasný tak aj historický stav koryta. Ide o porovnanie iba troch náhodne vybraných prietokových vĺn zo súčasného i historického obdobia.

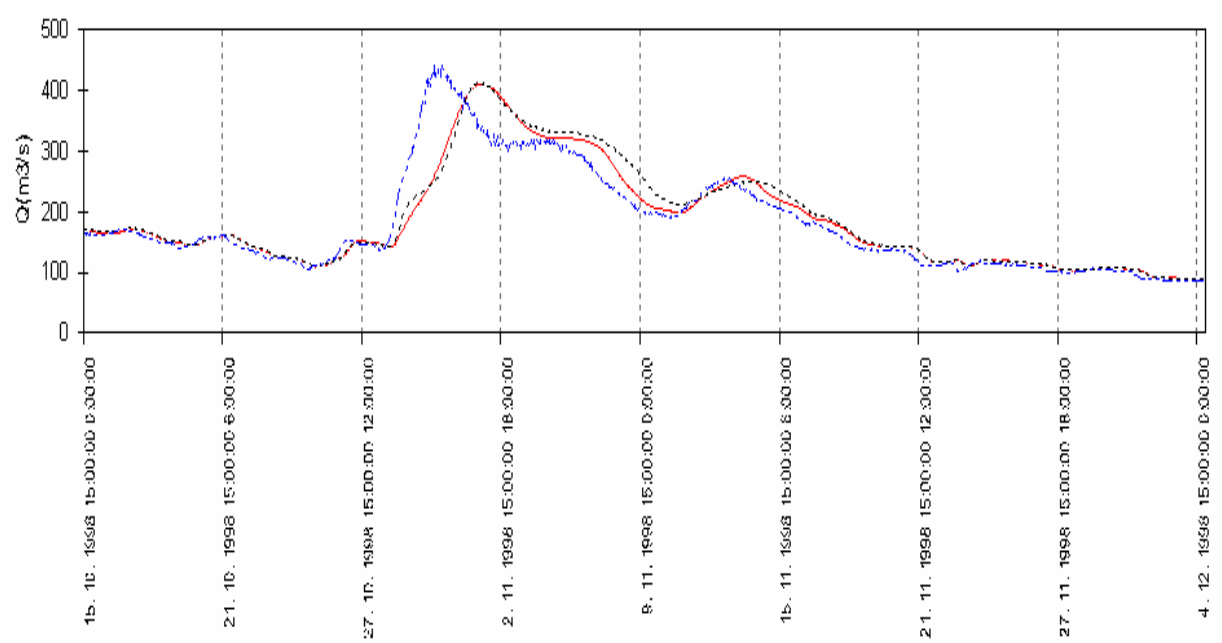
Tab.č.2 Porovnanie získaných koeficientov Nasha

obdobie	**Nashov koeficient**	
	konštantné *k* optimalizované pre každú vlnu genetickým algoritmom	modely z rovníc 7 - 15
15.03.1996 – 10.06.1996	0,99432	0,99694
15.10.1998 – 04.12.1998	0,99654	0,99714
29.06.1997 – 29.08.1997	0,99395	0,99756
16.10.1901 – 18,02.1901	0,99345	0,99547
04.02.1903 – 06.04.1903	0,98821	0,98942
07.07.1903 – 21.08.1903	0,99402	0,99419

Obr. 7 Verifikácia modelu pre súčasný stav koryta - obdobie 15.03.1996 – 10.06.1996



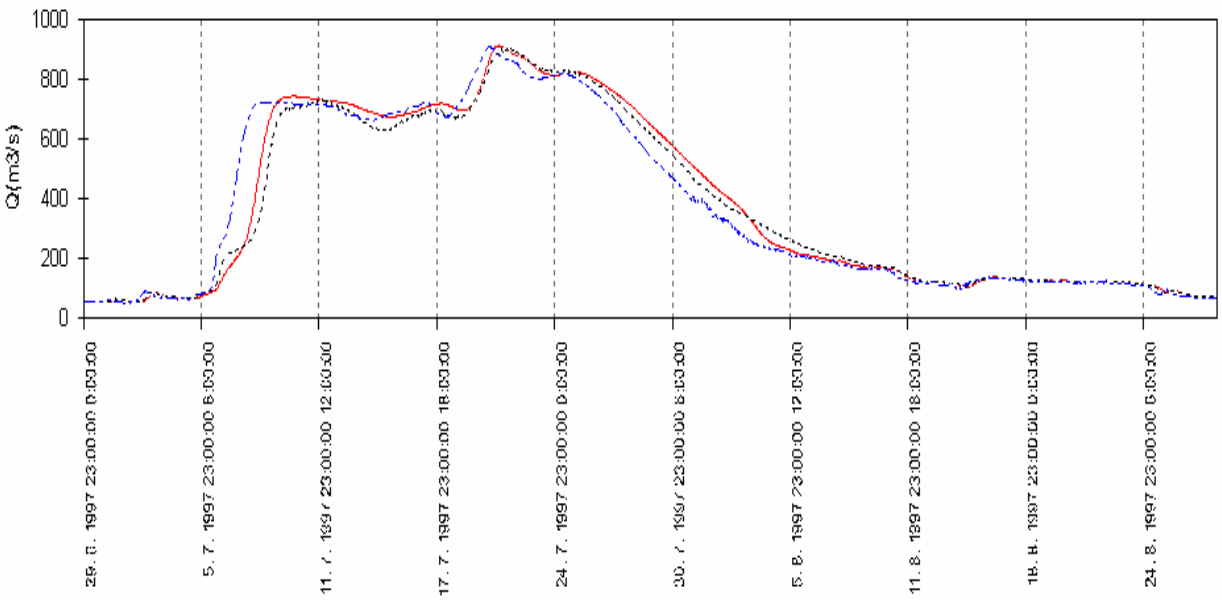
Obr. 8 Verifikácia modelu pre súčasný stav koryta - obdobie 15.10.1998 – 4.12.1998



LEGENDA:

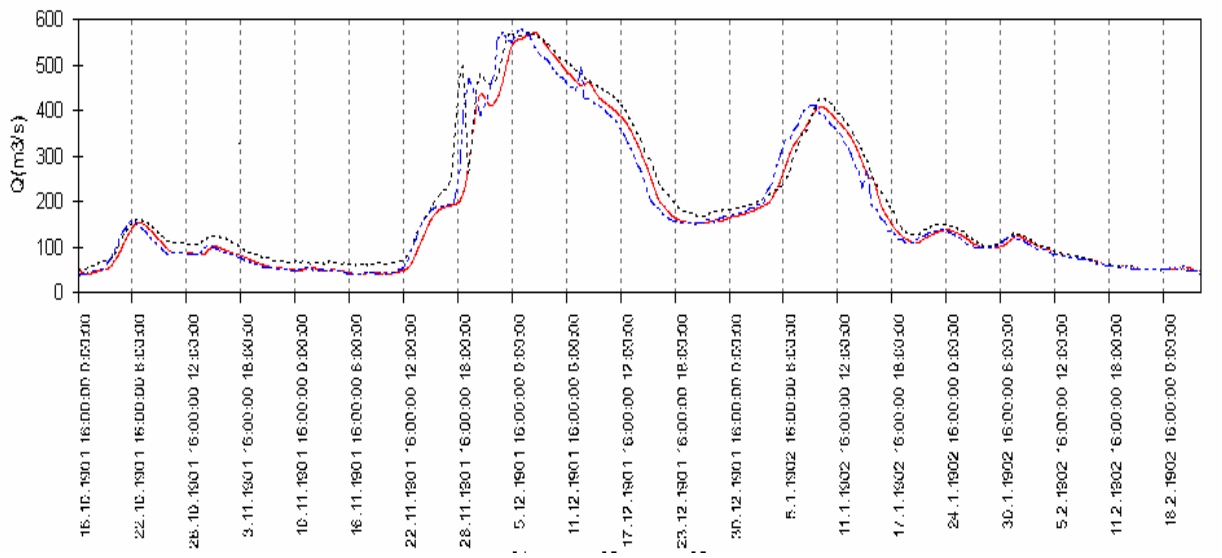
vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

Obr. 9 Verifikácia modelu pre súčasný stav koryta - obdobie 29.6.1997 – 29.8.1997



Vidieť, že model súčasného stavu koryta dobre vystihuje nástup, veľkosť a dobu kulminácie v celom rozsahu prietokov napriek jednoduchosti použitých vzťahov, čomu nasvedčujú hodnoty Nashovho koeficientu.

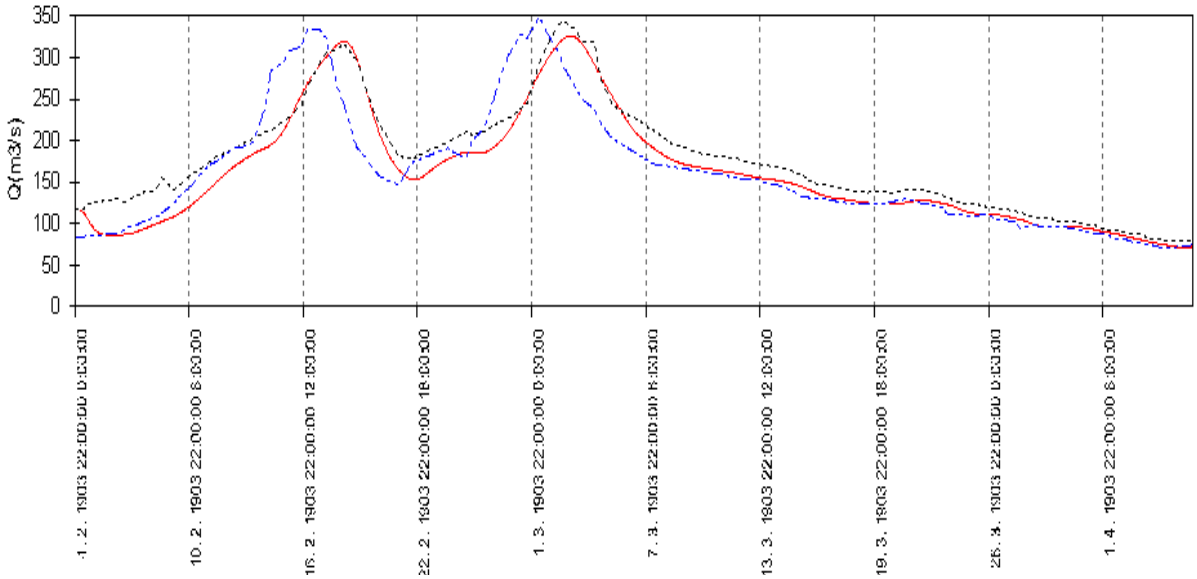
Obr. 10 Verifikácia modelu pre historický stav koryta – za obdobie16.10.1901 - 18.2.1902



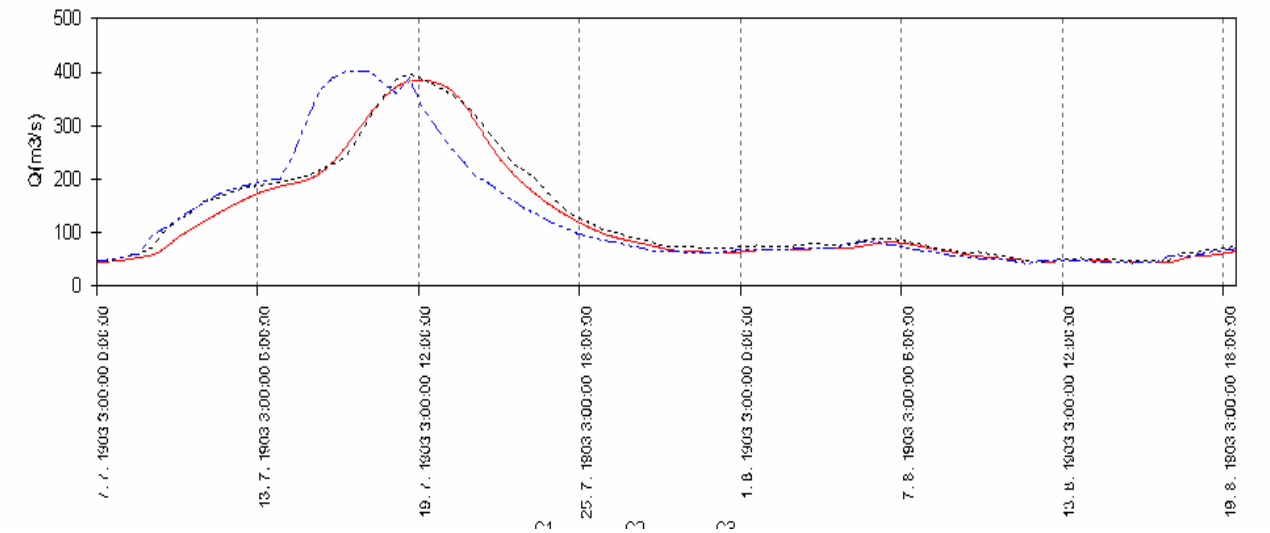
LEGENDA:

vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

Obr. 11 Verifikácia modelu pre historický stav koryta – za obdobie 4.2.1903 - 6.4.1903



Obr. 12 Verifikácia modelu pre historický stav koryta – za obdobie 7.7.1903 - 21.8.1903



LEGENDA:

vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

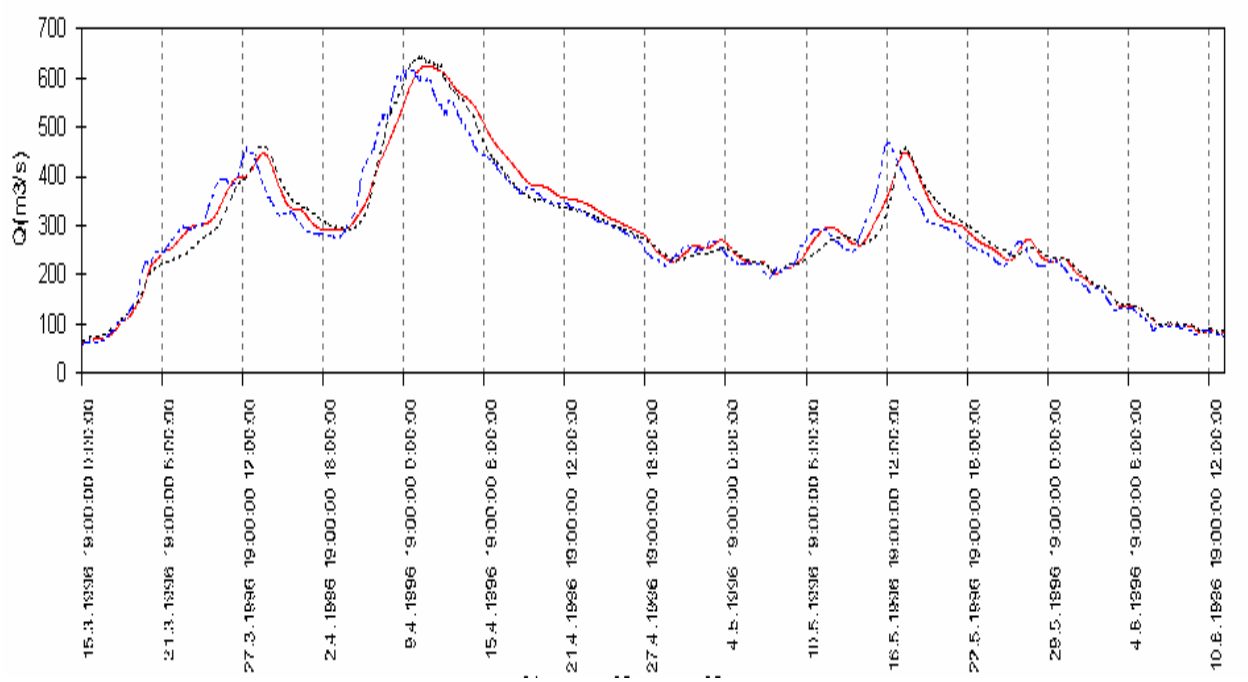
Model historického stavu koryta dobre vystihuje nástup a dobu kulminácie v celom rozsahu prietokov, čo bolo hlavnou úlohou. Veľkosť prietokov je o niečo nižšia z dôvodu zanedbania bočného prítoku (príčinou bola nedostupnosť údajov), kde boli aj hodnoty Nashovho koeficientu nižšie.

Je zrejmé, že použitím iných empirických vzťahov medzi postupovou dobou a prietokom by sa dostali rozdielne výsledky. Voľba typu vzťahu je subjektívna, čo je slabou stránkou prístupu. Na druhej strane odvodené funkcie zohľadňujú charakter správania sa prototypu a tým aj implicitne jeho hydraulické parametre ako pre súčasný, tak aj pre historický stav koryta.

Porovnanie zmien transformácie vybranej prietokovej vlny v oboch stavoch koryta

Posledným bodom tejto práce bolo porovnať transformáciu vybranej povodňovej vlny na základe odvodených transformačných modelov. Ako príklad kvantifikácie vplyvu inundácie na rozdielnosť transformácie prietokových vĺn pomocou odvodených modelov uvádzam porovnanie transformácie vlny z obdobia marec - jún 1996 pre obidva stavy koryta. Na Obr.13 je výstup z modelu pre súčasný stav koryta, na Obr.14 fiktívna transformácia tej istej vlny v historickom koryte. Treba poznamenať, že vzhľadom k nezanedbateľnému bočnému prítoku môže byť výstupný prietok vyšší v historickom stave, ako vstupný a časť nepresnosti simulácie súčasného stavu je spôsobená aj nepriamym odhadom bočného prítoku.

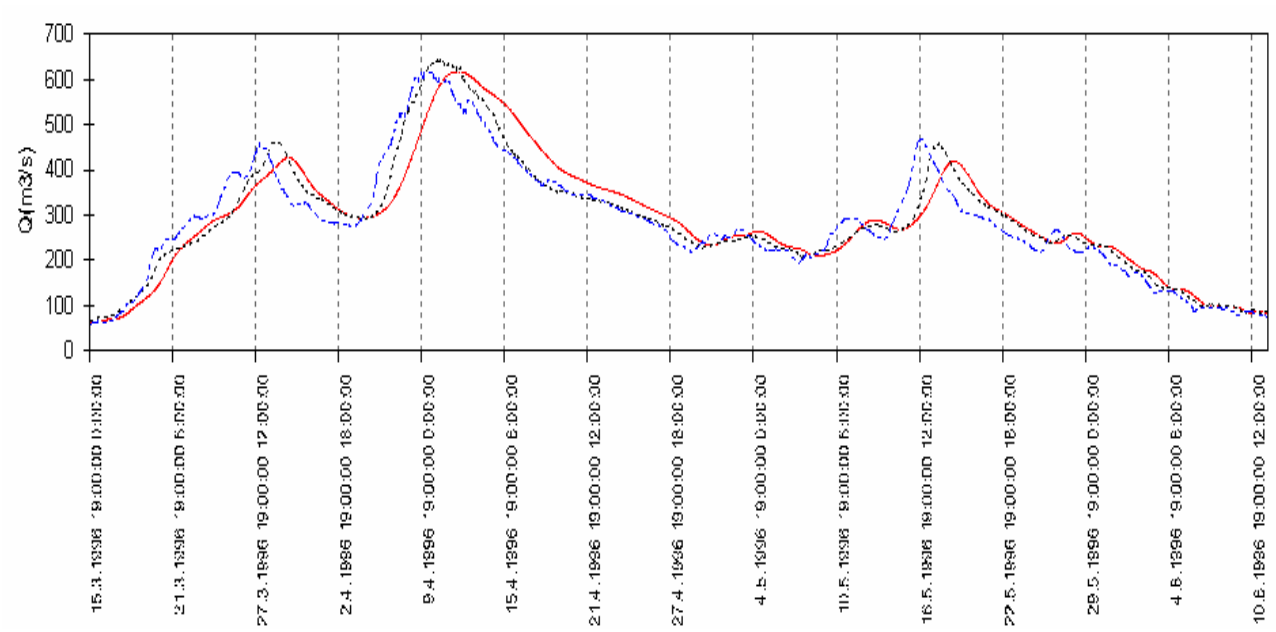
Obr. 13 Transformácia vybranej modelovanej povodňovej vlny – súčasný stav koryta obdobie 15.3.1996 – 10.6.1996



LEGENDA:

vstupný meraný prietok
výstupný meraný prietok
modelovaný výstupný prietok

Obr. 14 Transformácia vybranej modelovanej povodňovej vlny – historický stav koryta z obdobia 15.3.1996 – 10.6.1996



Z Obr.13 a 14 možno zreteľne vidieť rozdielnosť transformácie vybranej vlny pri obidvoch stavoch korýt. Na Obr. 13 je dobré simulovanie súčasného stavu. Dobre vystihuje veľkosť a dobu kulminácie v celom rozsahu prietokov. V historickom stave koryta má modelovaný výstupný prietok nižšiu veľkosť a oneskorenú dobu kulminácie v dôsledku otvorenejšieho inundačného územie. Zníženie kulminácie nastalo o 25 $m^3.s^{-1}$ v najvyššom bode modelovaného obdobia pri meranom výstupnom prietoku 659 $m^3.s^{-1}$. Spomalenie postupovej doby bolo cca 18 hodín na konkrétnej vybranej povodňovej vlne.

Záver

Cieľom tejto práce nebolo, a ani nemohlo byť, hľadanie optimálnych závislosti medzi postupovou dobou a prietokom a presné kvantifikácie účinnosti vybraného inundačného územia, ale vývoj a overenie metodiky, a preukázanie priechodnosti navrhovaného riešenia, čo sa v plnom rozsahu podarilo.

Optimálne závislosti pre celkové záverečné riešenie sa budú hľadať v ďalšej práci (spolu s teoretickou analýzou), napr. ako závislosť postupovej doby na hydraulických parametroch koryta. To sa zatiaľ nepodarilo uspokojivo vyriešiť, napr. aj Wong a Laurenson (1984) pristúpili k podobným empirickým závislostiam.

Doterajšie výsledky však ukázali schodnosť navrhnutého riešenia. Podarilo sa preukázať priechodnosť celej technologickej linky potrebnej pre dosiahnutie plánovaných cieľov riešenia projektu. Odvodené závislosti zovšeobecňujú hydraulické vlastnosti riečneho koryta a v prípade dostatočného súboru dát na ich odvodenie (a taký sme počas riešenia spracovali) sa dajú považovať za univerzálne pre daný tok.

V riešení sa podarilo preukázať, že koncepcia viacerých lineárnych modelov je použiteľná pre transformáciu povodňových vĺn aj na dolnej Morave. Parametrizácia modelu pomocou 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. Vyvinutý matematický model odtoku umožňuje kvantifikovať rozdielnosť transformácie v celom rozsahu povodňového režimu a pre všetky typy povodňových vĺn, čo bude využité v ďalšom riešení pri hodnotení celkového vplyvu inundácie na povodňový režim a hodnotení reálne dosiahnuteľnej miery zníženia kulminácie povodní pomocou umelých inundačných priestorov.

Po následnom spracovaní dostatočného počtu modelových situácií sa bude dať štatisticky vyhodnotiť zmena povodňového režimu v dôsledku úpravy toku.

Literatúra

Price, R.K.: 1975, Flood routing in natural rivers. In: Flood studies report. NERC, Londýn, 76s.

Szolgay, J.: 1982, Príspevok k diskretizácii spojitých lineárnych modelov transformácie povodňovej vlny. Vodohosp. čas., 30, , č.2, s.141-159.

Szolgay, J., (1985): Zohľadnenie vplyvu bočného prítoku a premenlivej postupovej doby v modeli KLN na regulovanom toku. In: Zborník Hydrologické a hydraulické procesy v krajine. Bratislava, UHH SAV, s 245–252.

Szolgay, J.-Minárik, B., (1990): Überlegungen zur Abflussvorhersage mittels einer mit Bayes'schen Fehlergliedmodell gekoppelten multilinearen Speicherkaskade auf Flussstrecken mit seitlichen zuflüssen. XV. Konferencia podunajských štátov o hydrologických prepovediach. Varna, BVMHP,1990, s.76–84.

Szolgay J. (2003): Multilinear discrete cascade model for river flow routing and real time forecasting in river reaches with variable speed. Proceedings of the ESF LESC Exploratory Workshop held At Bologna, Italy. 14 s.

Wong, T.H.F.- Laurenson, E.M.: 1984, A model of flood wave speed-discharge characteristics of rivers. WRR, Vol. 20, č.12, s. 1883-1890.

Wong, T.H.F.- Laurenson, E.M.: Wave speed-discharge relation in natural channels. WRR, Vol. 19, č.3, s 701-706.

Spracované historické podklady:

Historické archívne materiály z obdobia 1880 – 1932 (archív maďarskej hydrologickej služby a okresný archív v Myjave): vodné stavy, historické merania prietokov a merné krivky prietokov.

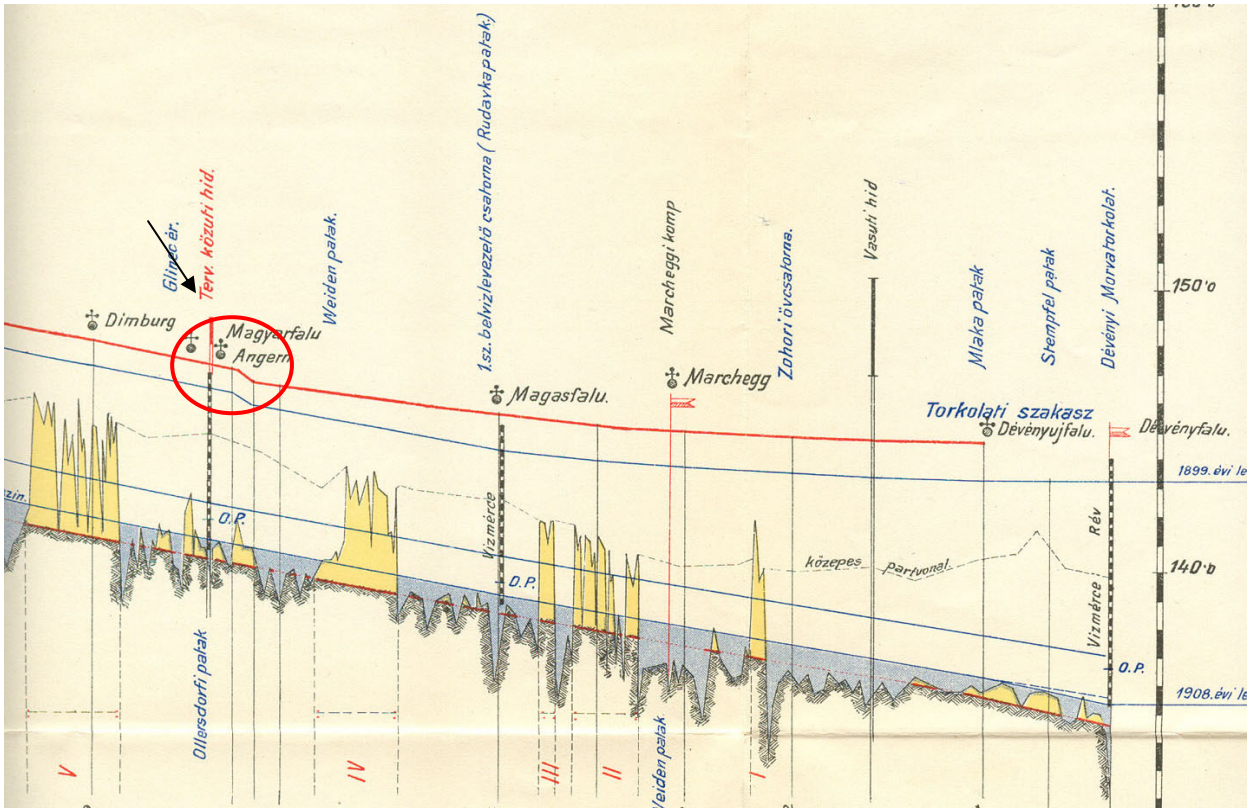
- prehľad najvyšších vodných stavov za významných povodní rieky Morava 1893 – 1932,
- výskyt veľkých vôd zoradených podľa vodočetnej výšky v Moravskom Svätom Jáne z obdobia 1893 – 1932,
- merná krivka prietokov v Moravskom Sv. Jáne 1889 – 1900,
- merná krivka prietokov v Záhorskej Vsi z obdobia 1894-1896,
- záznamy z hydrometrovaniach v stanici Moravský Sv. Ján z obdobia 1901 – 1916,
- záznamy z hydrometrovaniach v stanici Záhorská Ves z obdobia 1901 – 1916,
- záplavové územie medzi vodomernými stanicami Moravský Svätý Ján a Záhorská Ves,
- vývoj inundačného územia z obdobia.

Autor

Ing. Michaela Danáčová, Suf STU, Katedra vodného hospodárstva krajiny, Radlinského 11, Bratislava

Príloha

Obr. 17 Úsek pozdĺžneho profilu významných historických povodní – Záhorská Ves



Obr. 18 Mapa inundačného územia v okolí vodomernej stanice Záhorská Ves

