

HEC-RAS MODEL USE FOR STUDY OF TECHNICAL AND BIOTECHNICAL MEASURES EFFECT ON INCREASING OF WATER RETENTION IN STREAM CHANNEL AND FLOODPLAIN

P. Halaj, E. Jurík, J. Matyo and V. Bárek

Department of Landscape Engineering, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering,
Slovak Agricultural University in Nitra, Slovakia, kki@uniag.sk

The objective of this paper is analysis of technical and biotechnical measures effect on increasing of water retention in channel and floodplain of the creek Bocegaj. The creek Bocegaj, regulated in 1960, is surrounded mostly by agriculturally land. The regulation measures were connected to increasing of flood control level and make possible to outflow the drainage systems. The regulation measures emphasized priority of exploitation aspects (flood control, low cost's maintenance, soil drainage requirements, etc.) and focused on abiotic elements of river ecosystem. This approach resulted in unnatural shape of channel cross section, its fortification and reduction of riparian vegetation. Effect of the measures demonstrates also in changes of streamflow time course during extreme floods and water retention abilities of channel and adjacent floodplain.

The authors studied effect of restoration structures placement in channel and riparian vegetation planting on changes of flood parameters and increasing of water retention in Bocegaj basin. There were compared four alternatives: former state, state with structures in channel, alternative with planted riparian vegetation and alternative with structures in channel together with planted riparian vegetation. The HEC-RAS software was used for analysis of recent state and designed measure alternatives.

Result showed considerable effect of riparian vegetation planting on duration of flood and water retention in basin. The obtained results also prove that HEC-RAS represents quality tool with decision support capabilities for land use managers, hydraulics researchers and hydrologist.

KEYWORDS: HEC-RAS, streamflow modelling, water retention, stream channel, floodplain, measures

ÚVOD

Ochrana a zabezpečenie trvaloudržiateľnosti akvatických ekosystémov je kľúčovou prioritou Rámцovej Smernice Európskej únie o vode. V podmienkach degradovaných vodných ekosystémov poľnohospodárskej krajiny dochádza k zmenám geomorfológie korýt upravených i prirodzených vodných tokov s dôsledkami pre ich biotickú i abiotickú zložku, ako aj pre terestriálnu i akvatickú oblasť týchto biotopov. Pri upravených tokoch, ktoré majú paralyzované autoregulačné mechanizmy je situácia sťažená neperiodickou údržbou toku. Okrem, iných sa zmeny prejavujú i v zmenách stupňa ochrany okolitého územia. Keďže požiadavky v minulosti realizovaných úprav tokov sa líšia od súčasných trendov úprav prírode blízkyh a zahŕňajú i problematiku prehodnocovanie stupňa ochrany okolitého územia a tým pádom aj intenzity jeho využitia, cieľom príspevku je posúdiť mieru zvýšenia úrovne retencie vody v povodí návrhom technických a biotechnických opatrení pre záťažové stavy reprezentované povodňovými prietokmi.

MATERIÁL a METODIKA

Charakteristika toku Bocegaj

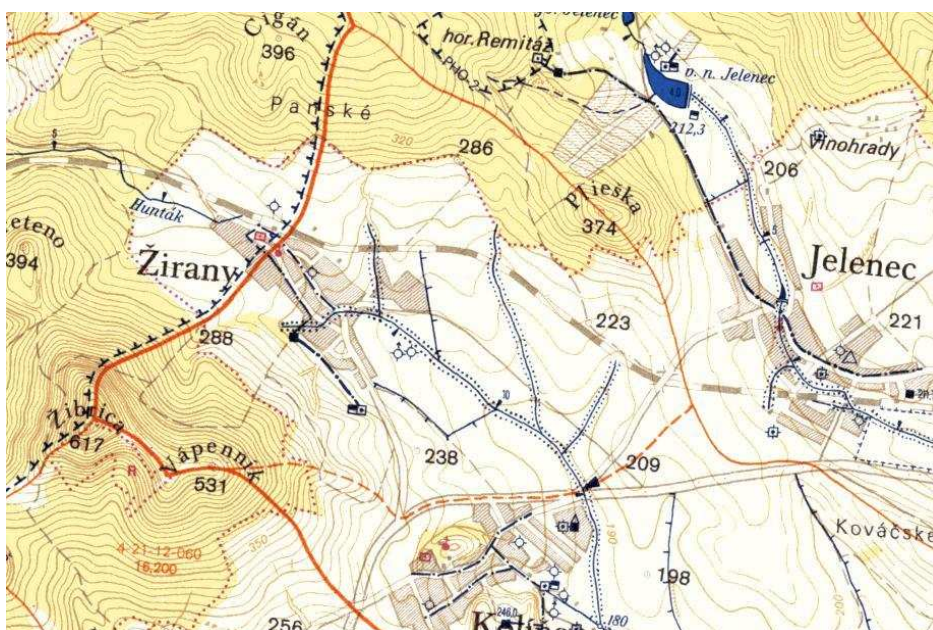
Potok Bocegaj (povodie 4-21-12-035) je pravostranným prítokom potoka Drevenica. Tok preteká stredom záujmového územia. Hydrografickú sieť povodia dopĺňa vodná nádrž Kolíňany. Riečna sieť

v záujmovom území má hustotu $\rho = 0,52 \text{ km.km}^{-2}$. Analýzou mapových podkladov sme stanovili plochu povodia toku Bocegaj k uzatvárajúcemu profilu v mieste mostného objektu cestnej komunikácie I. triedy $F=9,75 \text{ km}^2$. Plocha lesov zaberá $2,63 \text{ km}^2$, čo predstavuje lesnatosť $Le = 27,0 \%$. Dĺžka údolnice je 4620 m , pričom vlastné koryto toku má dĺžku 3408 m . Sklon údolnice $I_u = 8,9 \%$. Súčiniteľ tvaru povodia $\alpha = 0,45$, čo zaraďuje povodie medzi vejárovité typy povodia. Dlhodobý priemerný ročný prietok dosahuje hodnotu $Q_a = 43 \text{ l.s}^{-1}$

Morfologické charakteristiky toku Bocegaj

Dĺžka toku v skúmanom úseku:	$L_t = 784 \text{ m}$
Dĺžka údolnice	$L_u = 784 \text{ m}$
Vlnitosť trasy	$Si = \frac{L_t}{L_u} = \frac{784}{784} = 1$
Priemerný sklon dna:	$i_o = 0,005 = 5 \%$
Ohraničenosť inundačného územia:	$< 1,4$
Materiál koryta:	kamenná dlažba

Podľa Rosgenovej klasifikácie vodných tokov sme zatriedili vodný tok do typu **A2**. Podľa Simonovej klasifikácie patrí vodný tok do **II.** evolučného stupňa.



Obrázok 1: Čiastkové povodie toku Bocegaj

Analyzovaný bol úsek toku Bocegaj od km 8,864 až po km 9,638 (obr.1). Začiatok analyzovaného úseku sa nachádzal v blízkosti mostného objektu štátnej cesty I. triedy Nitra – Zlaté Moravce. Koniec úseku bol zvolený vo vzdialenosti 72 m od objektu stupňa v km 9,566. Tok Bocegaj bol upravovaný v 60-tych rokoch minulého storočia. Úprava mala za cieľ chrániť okolité územie pred záplavami a zaisťiť vhodný recipient pre pripravovanú odvodňovaciu stavbu. Prietokový profil lichobežníkového tvaru má šírku dna $b = 0,50 \text{ m}$, sklon svahov $1 : 1,5$ a hĺbku minimálne $1,20 \text{ m}$, aby bolo umožnené zaústenie odvodňovacieho detailu. Dno koryta a svahy do výšky $0,5 \text{ m}$ boli opevnené kamennou dlažbou na sucho. Hodnoty hĺbok pre jednotlivé návrhové prietoky a úseky toku Bocegaj pre projektovaný stav (súčiniteľ drsnosti $n=0,030$) sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1: Hĺbky vody pre jednotlivé návrhové prietoky a úseky toku Bocegaj km 8,864 - 9,638

Roky	1	2	5	10	20	50	100	
Návrhový prietok [m ³ .s ⁻¹]	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	11,0	14,0	
Hĺbky pri návrhovom prietoku Q_n a sklone dna i_o								
Sklon [%o]	4,4	0,48	0,69	0,96	1,15	1,31	1,51	1,68
	7	0,43	0,61	0,86	1,04	1,18	1,37	1,52
	10	0,39	0,56	0,79	0,95	1,09	1,26	1,40

Charakteristika softvérového prostriedku HEC-RAS

K skúmaniu hladinových režimov počas povodňových prietokov sme použili softvér HEC-RAS verzia 3.1.2, ktorý bol vyvinutý inštitúciou Hydrologic Engineering Center Army Corps of Engineers. Tento 1D softvérový prostriedok využíva podrobne riešenú hydrauliku ustáleného a neustáleného prúdenia v otvorených korytách a objektoch umelých i prirodzených tokov. Výpočet vyžaduje zadanie troch hlavných kategórií dát:

- geometriu koryta a objektov,
- stratové súčinitele a drsnostné súčinitele,
- okrajové podmienky.

Pre hydraulické posúdenie kapacít systému otvorených koryt a objektov z hľadiska maximálnych odtokov sme použili schematizáciu na úrovni ustáleného nerovnomerného prúdenia, riešením ktorého sme stanovili pozdĺžne profily hladín, ktoré odpovedajú jednotlivým N-ročným prietokom. Podrobné definovanie geometrických parametrov priečných profilov, ako aj ich hydraulických charakteristík vrátane parametrov údolnej nivy nám umožnilo určiť rozsah inundácií.

Stanovenie súčiniteľa drsnosti pre koryto a inundačné územie vodného toku

Drsnostné charakteristiky koryta toku a jeho inundačného územia je potrebné stanoviť oddelene, pretože hodnoty drsnosti sa v priečnom profile menia v závislosti od typu povrchu resp. povahy a vlastností prekážok. Pre stanovenie celkovej drsnosti koryta a inundačného územia sme použili modifikovanú metódu pre určenie drsnosti koryta:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (1)$$

kde

- n_b = základná hodnota n prirodzeného holého pôdneho povrchu inundačného územia,
- n_1 = korekčný súčiniteľ zahrňujúci pôsobenie povrchových nerovností na inundačnom území,
- n_2 = hodnota pre zmenu v skladbe a rozšírení v rámci inundačného územia v mieste priečného profilu, (štandardne sa predpokladá rovnosť $n_2=0$),
- n_3 = hodnota pre prekážky v inundačnom území,
- n_4 = hodnota pre vegetáciu v inundačnom území,
- m = korekčný súčiniteľ pre vlnitosť inundačného územia (implicitne zvolená hodnota pre priamy tok $m=1,0$).

Pri použití rovnice 1 začína výpočet celkového súčiniteľa drsnosti n stanovením základnej hodnoty n_b pre prirodzený holý pôdny povrch inundačného územia. K tejto východiskovej hodnote sa pripočítavajú ďalšie súčinitele, ktoré berú do úvahy povrchové nerovnosti, prekážky a vegetáciu inundačného územia atď. Výber n_b hodnoty je obdobný ako pri jednoduchých korytách vodných tokov a sú uvádzané v rôznych literárnych zdrojoch napr. CHOW (1959). Hodnoty korekcií n_1 až n_4 sú vo forme tabuliek uvedené napr. v publikácii ARCEMENT a SCHNEIDER (2000). Za určitých

okolností, keď hlavný vplyv na hodnotu drsnosti inundačného územia vytvára brehová a sprievodná vegetácia, môže byť drsnosť určená terénnym meraním hustoty vegetácie v inundačnom území, čo je samozrejme metóda presnejšia ako stanovenie odhadom, pomocou tabuľkových hodnôt.

Stanovenie objemu prietokovej vlny

Pre stanovenie transformovanej podoby prietokovej vlny, ktorá sa deformuje vplyvom retardácie odtoku pôsobením navrhnutých opatrení sme uskutočnili výpočet parametrov prietokovej vlny. Pre výpočet charakteristík prietokovej vlny sme sa opierali o ustanovenia OTN ŽP 3112-1:03: Kvalita povrchových a podzemných vôd. Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia povodňového režimu. Časť 1: Stanovenie N-ročných prietokových vln na väčších tokoch,, v ktorej sa vychádza z predpokladu, že proces tvorby povodňového odtoku je determinovaný hlavne výdatnosťou a trvaním príčinného dažďa a odtokovými pomermi príslušného povodia. Výška schematizovanej prietokovej vlny bola vymedzená 100-ročným maximálnym prietokom $Q_{100} = 14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Objem schematizovanej prietokovej vlny W je určený objemom vody W' spadnutej na povodie počas trvania tzv. kritického dažďa t_k , redukovaným príslušným koeficientom odtoku β vyjadrujúcim straty vsakovaním, výparom a pod., Doba trvania kritického dažďa t_k považovaná pri nie príliš rozsiahlych plochách povodi (do cca 500 km^2) za dobu dobehu sa určí z dĺžky údolia toku L a strednej rýchlosti dobehu v_s .

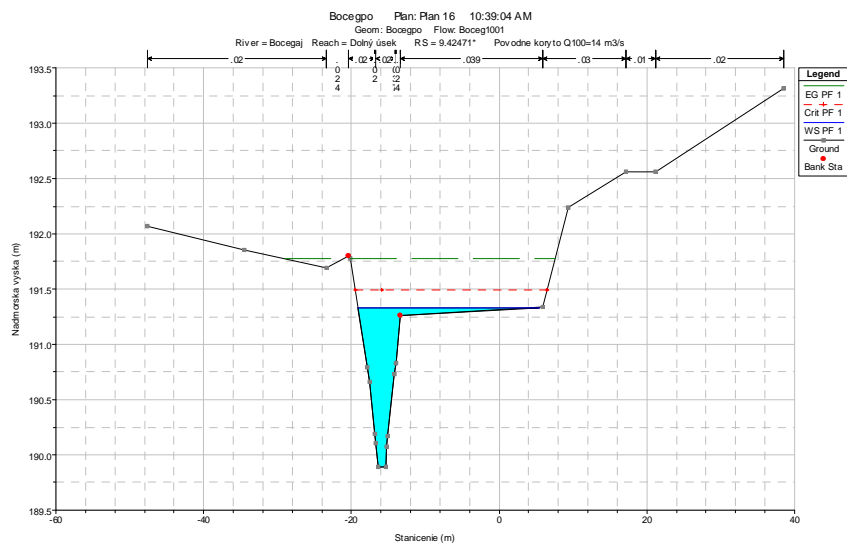
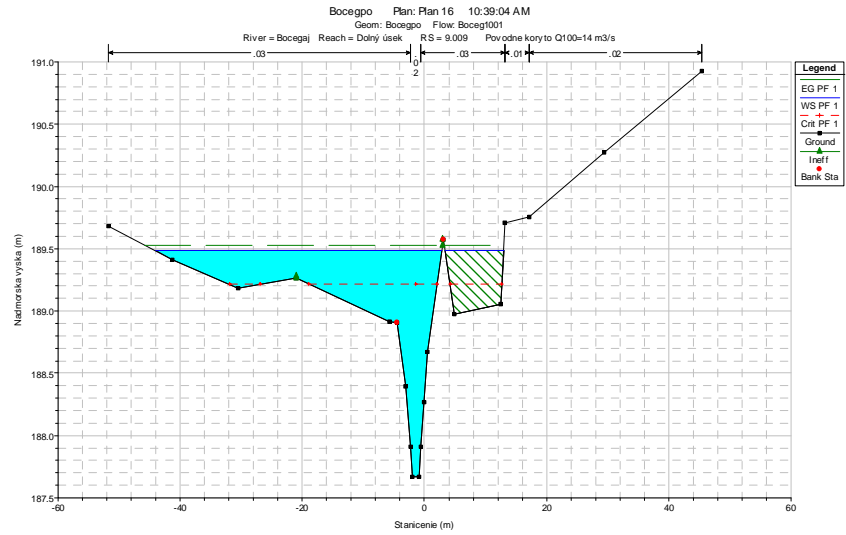
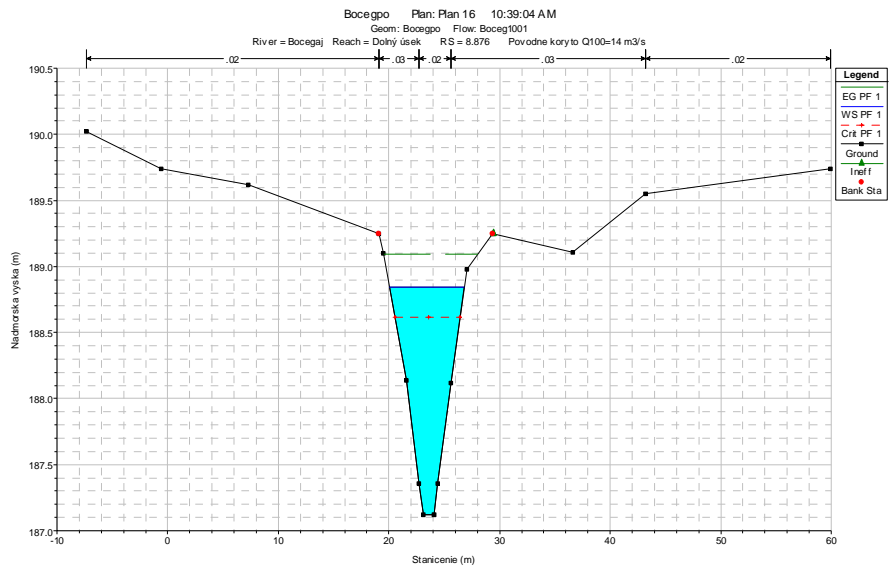
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Po zadaní vstupných geometrických a hydraulických údajov, parametrov drsnosti a po nadefinovaní okrajových podmienok sme pomocou softvéru HEC-RAS simulovali priebeh hladín pri povodňovom prietoku $Q_{100} = 14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pre pôvodné koryto a tri alternatívy navrhnutých úprav:

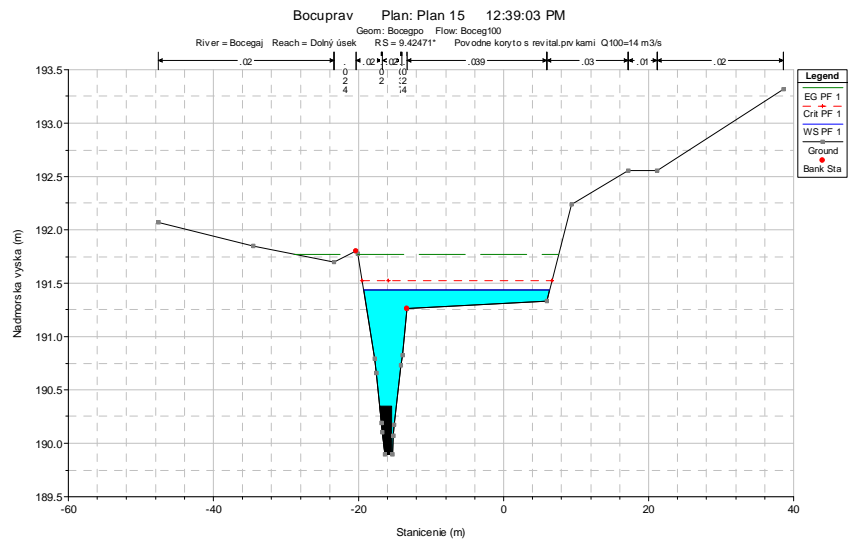
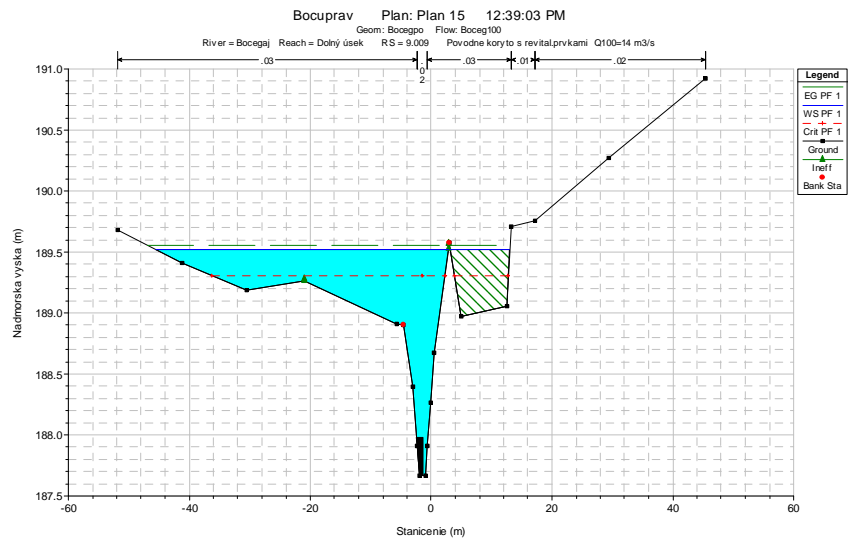
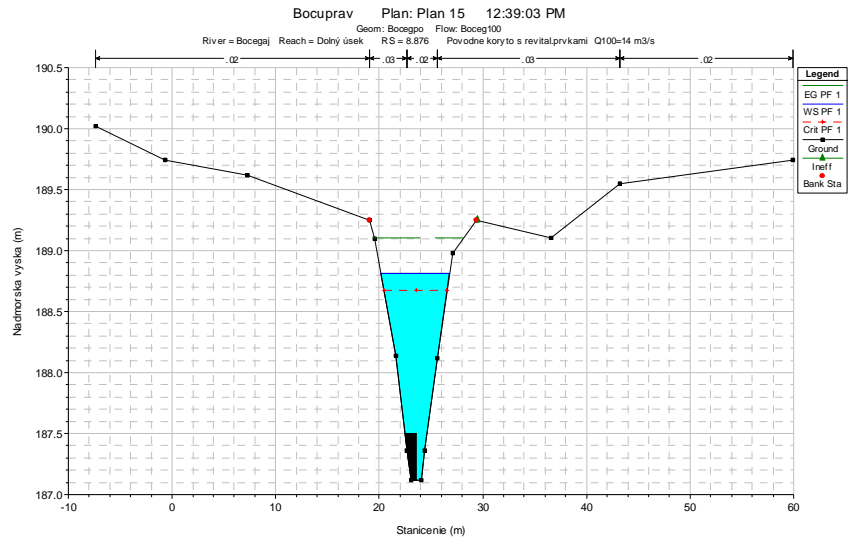
- I. alternatíva:** technické opatrenia - do koryta boli vložené revitalizačné prvky, jednostranné vŕhony a makrodrsné prvky (balvany) o výške 0,40 m.
- II. alternatíva:** biotechnické opatrenia v pobrežnej zóne a v inundačnom území – výsadba sprievodnej vegetácie a brehových porastov od úrovne hladiny pri Q_{180d} .
- III. alternatíva:** kombinácia predchádzajúcich technických a biotechnických opatrení.

Parametre drsnosti koryta a inundačného územia, ako aj výsledky znázorňujúce priebeh hladín sú pre jednotlivé alternatívy uvedené na zobrazených priečných profiloch (obrázky 2-13). Voľby hodnôt drsnosti a ich opráv zodpovedajú charakteru povrchu: opevnenie kamennou dlažbou $n_b = 0,030$, holá pôda $n_b = 0,010$, nepokosený trávny porast resp. zaburinená plocha $n_b = 0,030$, vplyv nerovností $n_1 = 0,005$, vplyv zmien v charaktere povrchov $n_2 = 0,000$, vplyv prekážok $n_3 = 0,015$, množstvo vegetácie $n_4 = 0,100$ a stupeň meandrovania $m = 1,0$. Rozšírenie vegetácie sme navrhovali len v rámci potočného koridoru, ktorý bol morfológicky vymedzený tvarom inundačného územia. Okrajové podmienky boli nadefinované hodnotami návrhového prietoku a normálnej hĺbky pri známom sklone dna na hornej a dolnej okrajovej podmienke.

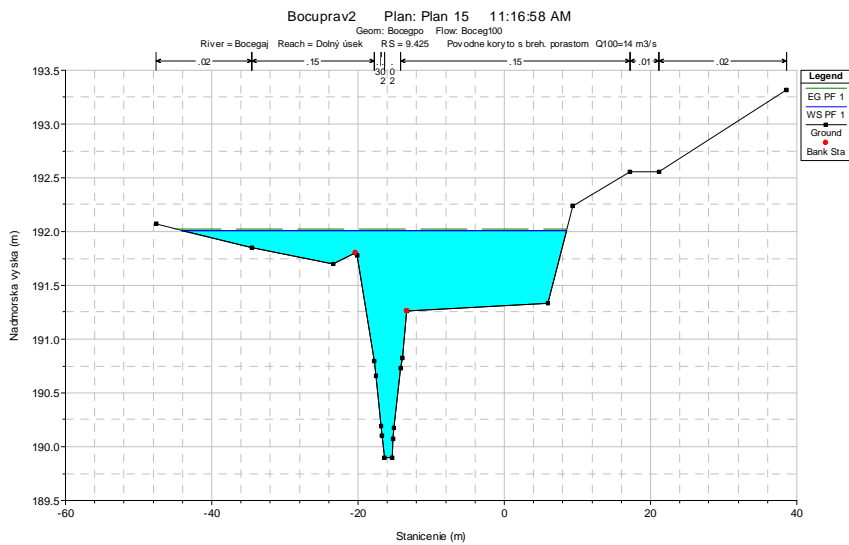
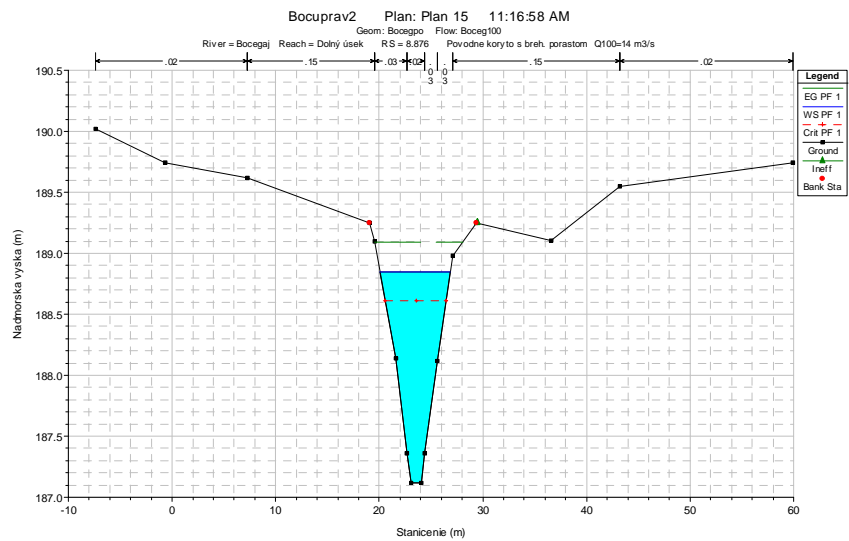
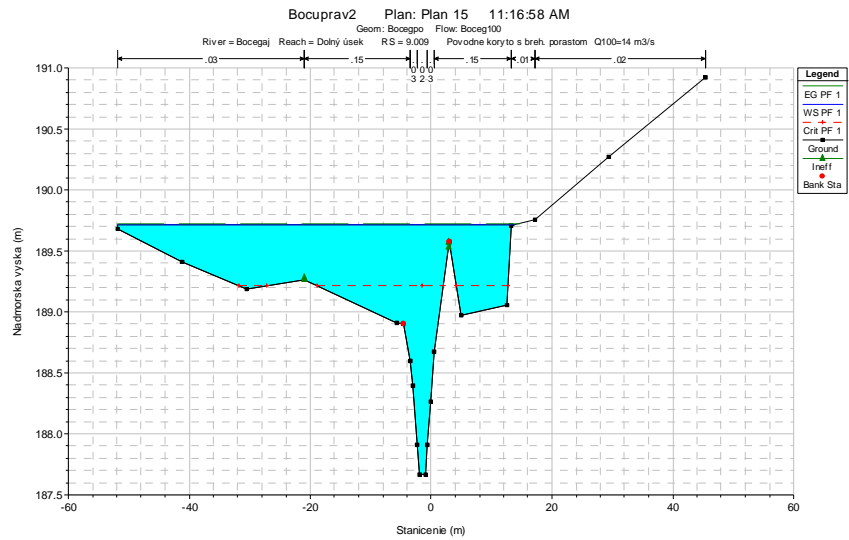
Ako je zrejme z obrázkov 2 až 4 vďaka veľkému a neprirodzenému zahĺbeniu koryta a veľkému pozdĺžnemu sklonu má pôvodné, upravené koryto spolu s úzkym pásom priľahlého inundačného územia dostatočnú kapacitu na prevádzanie prietokov i s dlhšou dobou opakovania než na akú bolo dimenzované (Q_{20}). Na obrázkoch 3 až 5 je zachytený priebeh hladín pri po vložení revitalizačných prvkov. Efekt ich pôsobenia sa prejavil v miernom zvýšení úrovne hladiny v dôsledku zvýšenia lokálnej drsnosti koryta. Výraznejší vplyv vo forme zvýšenia akumulácie a retardácie odtoku sa však nedostavil. Na obrázkoch 6 až 8 sú badateľné výrazné zvýšenia akumulácie vody v koryte a v inundačnom území vďaka zväčšenej drsnosti prietokového profilu (súčiniteľ drsnosti $n=0,150$). Zvýšenie úrovne hladiny sa prejavilo vo všetkých profiloch. Pri kombinácii opatrení revitalizačné prvky - brehová a sprievodná vegetácia (obrázok 9 až 11) sa neprejavil synergický účinok týchto opatrení a došlo vo väčšine profilov len k nevýznamnému zvýšeniu úrovne hladiny.



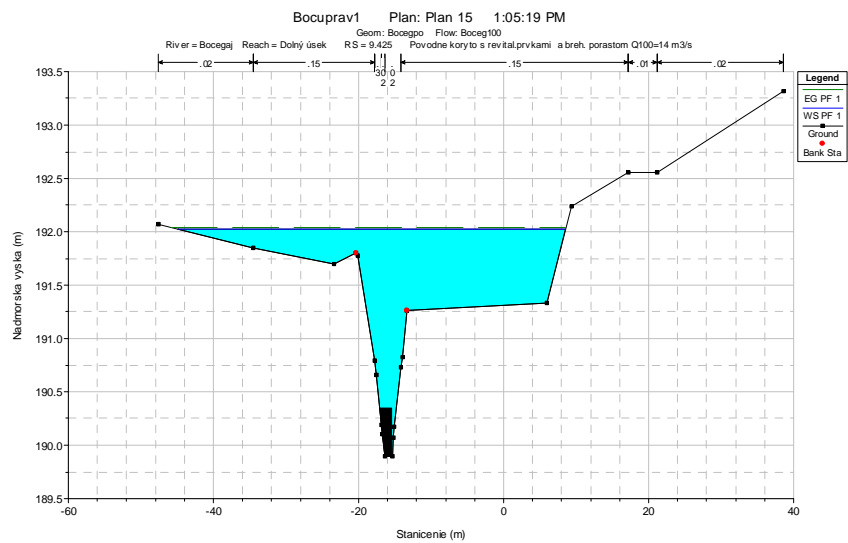
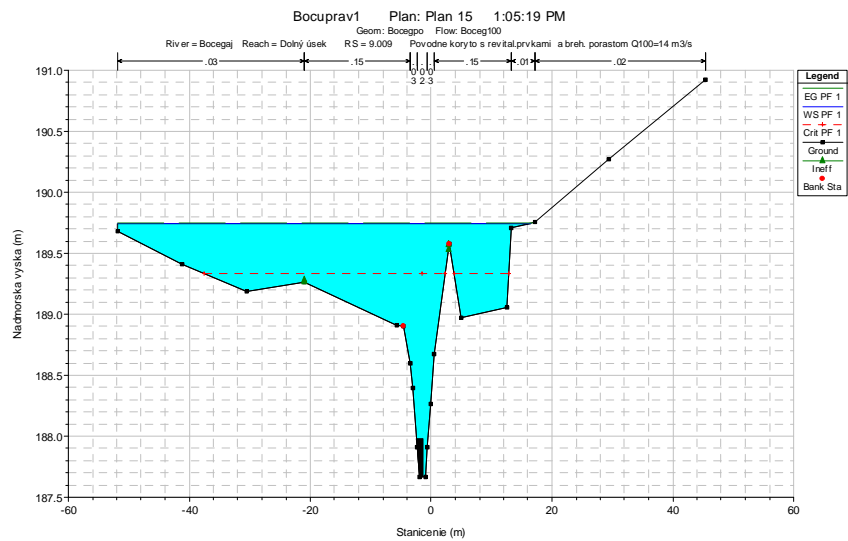
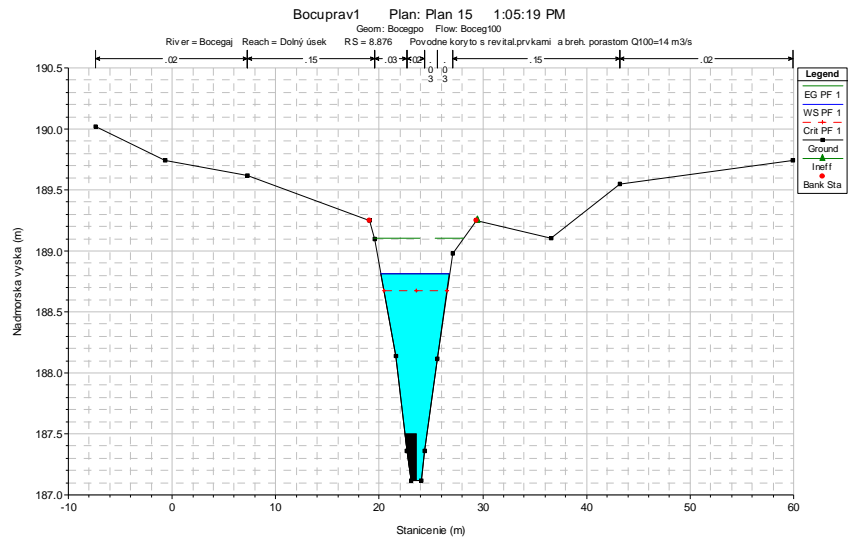
Obrázok 2-4: Znáznorenie úrovně hladín pre pôvodné upravené koryto pri $Q_{100}=14\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$



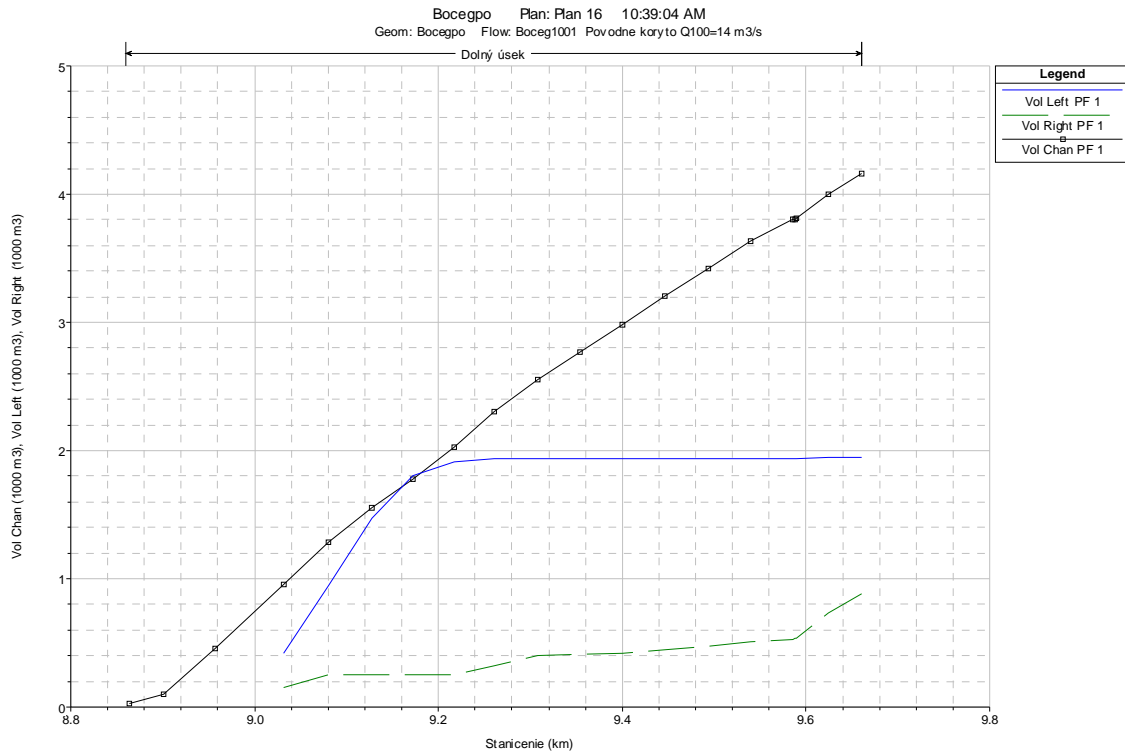
Obrázok 5-7: Znáznornenie úrovne hladín pre pôvodné koryto s revitalizačnými prvkami pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



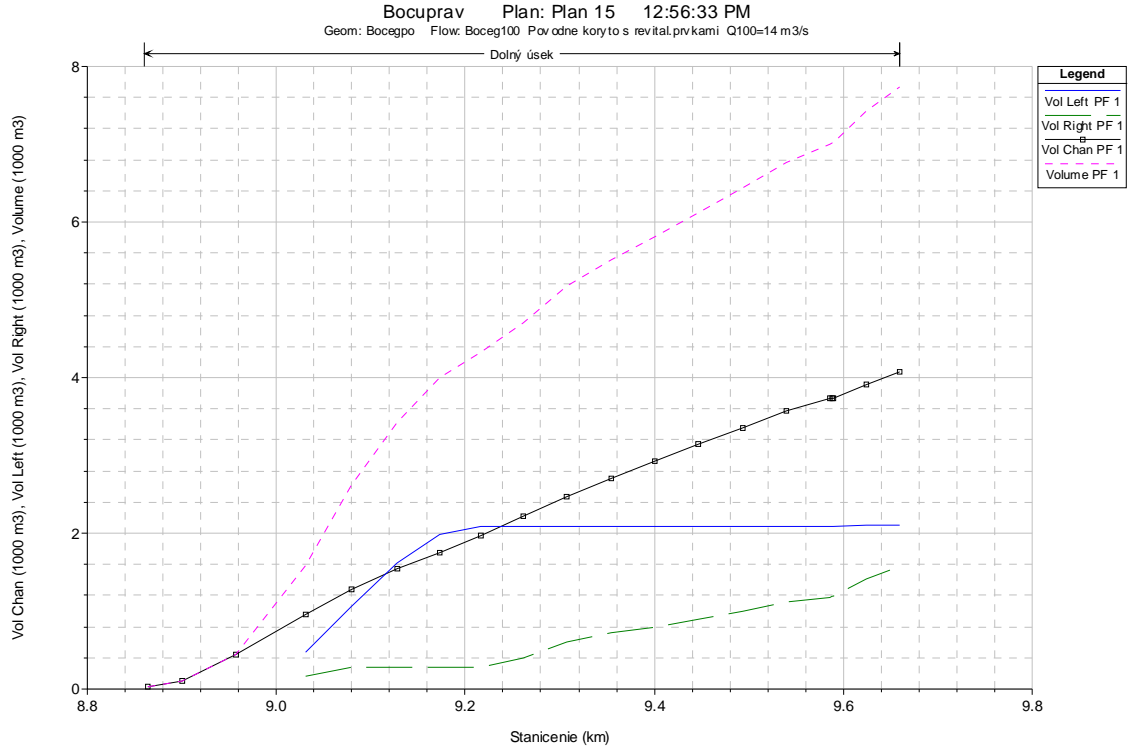
Obrázok 8-10: Znárodnenie úrovne hladín pre koryto s brehovým porastom pri $Q_{100}=14\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$



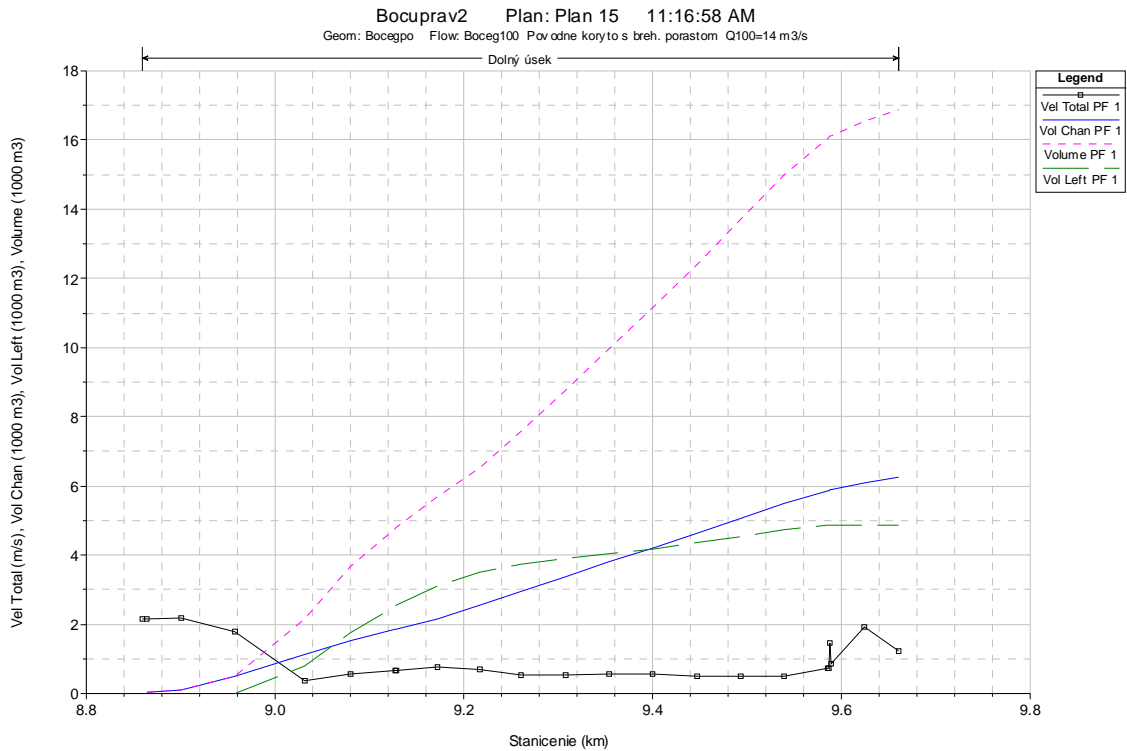
Obrázok 11-13: Znáznornenie úrovne hladín pre koryto s brehovým porastom a revitalizačnými prvkami pri $Q_{100}=14\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$



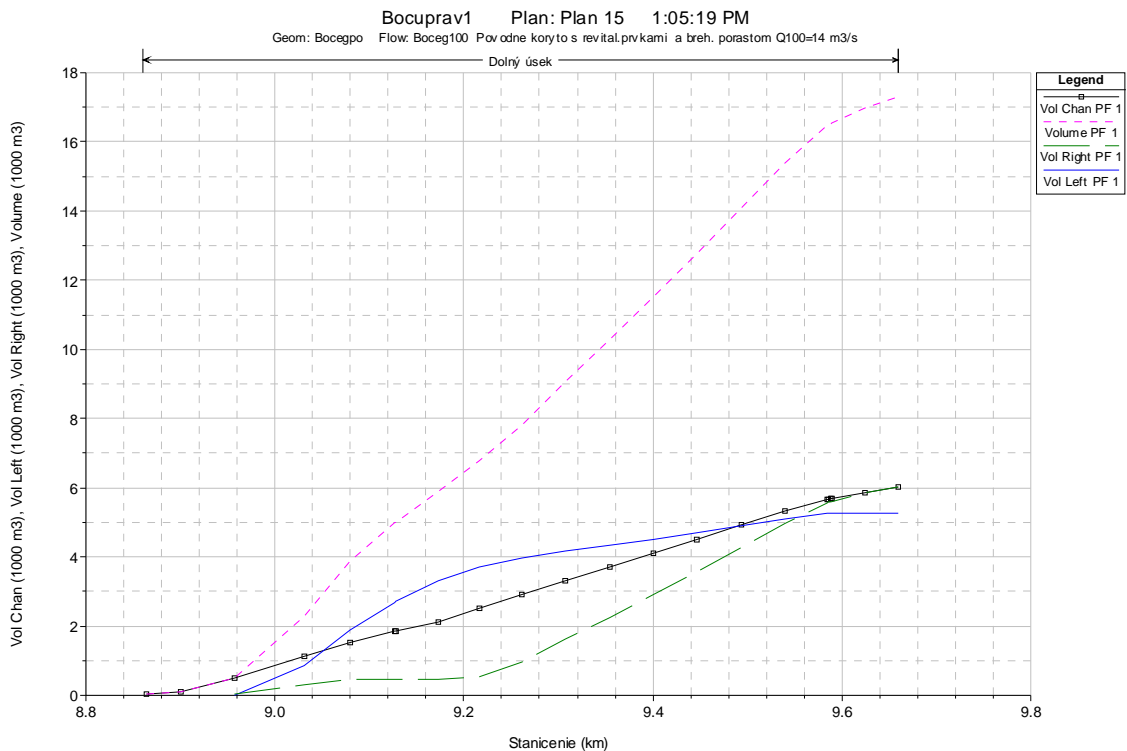
Obrázok 14: Znáznornenie priebehu kumulatívnych objemov vody pre koryto, ľavú a pravú inundáciu pre pôvodné upravené koryto pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



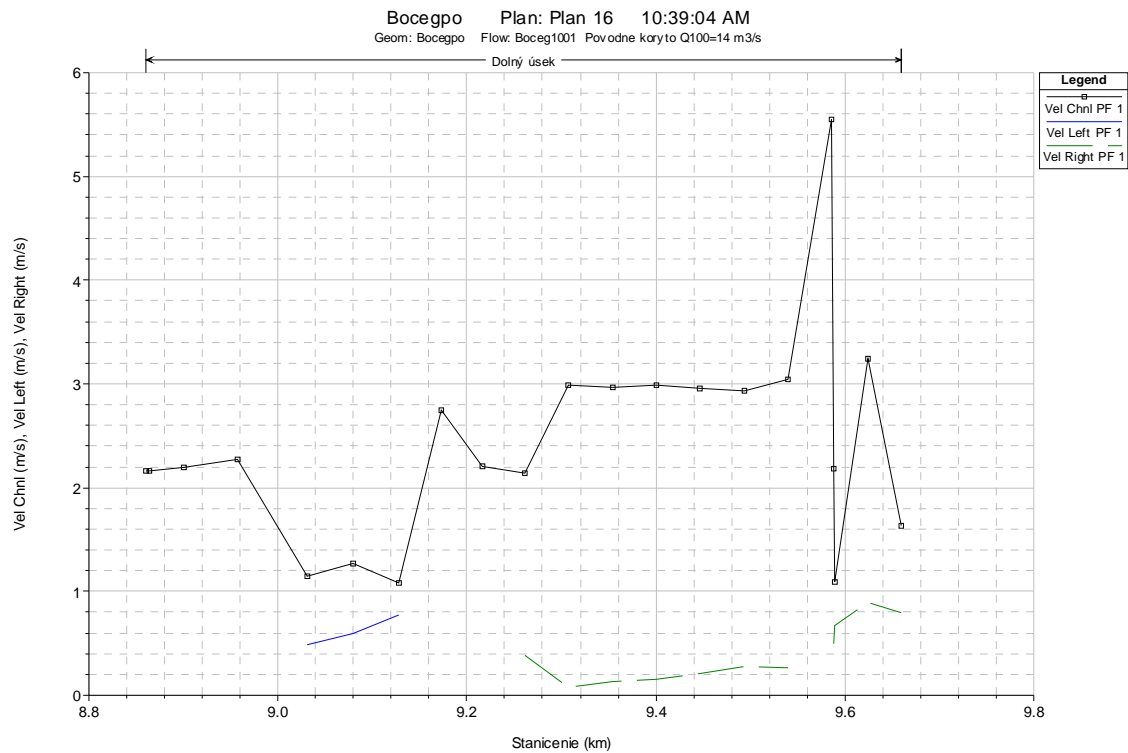
Obrázok 15: Znáznornenie priebehu kumulatívnych objemov vody – celkový objem, koryto, ľavú a pravú inundáciu pre koryto s revitalizačnými prvkami pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



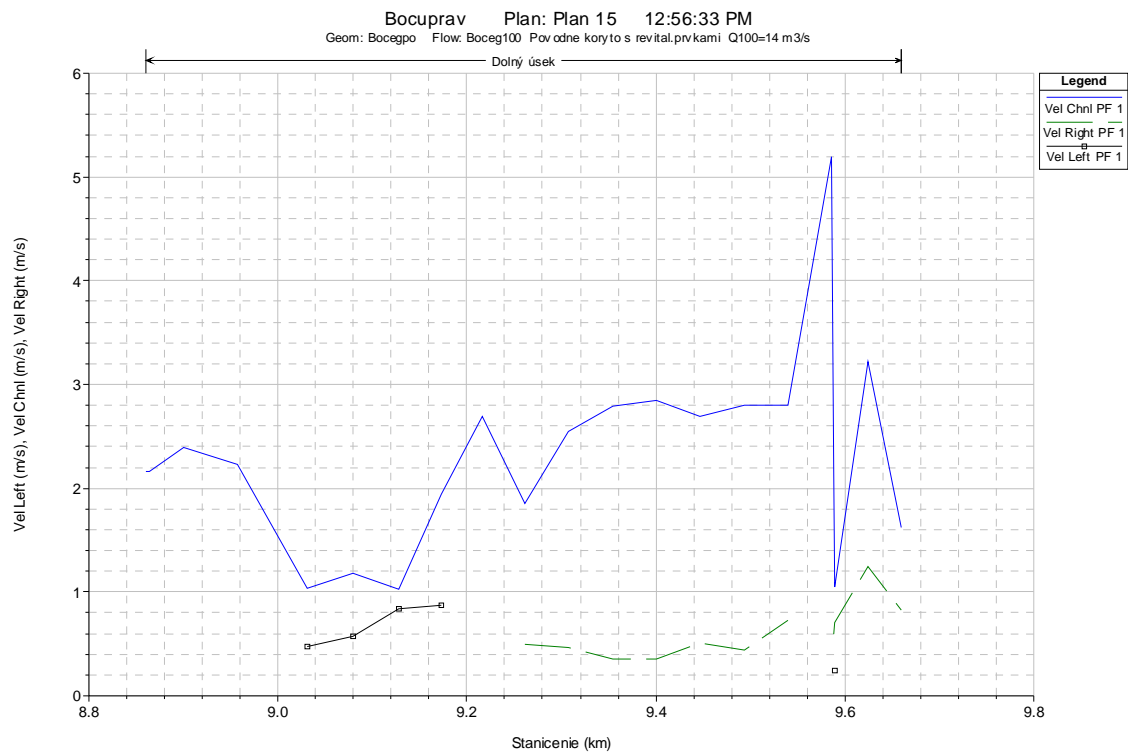
Obrázok 16: Znáozornenie priebehu kumulatívnych objemov vody- celkový objem, koryto, ľavú a pravú inundáciu pre tok s brehovým porastom pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



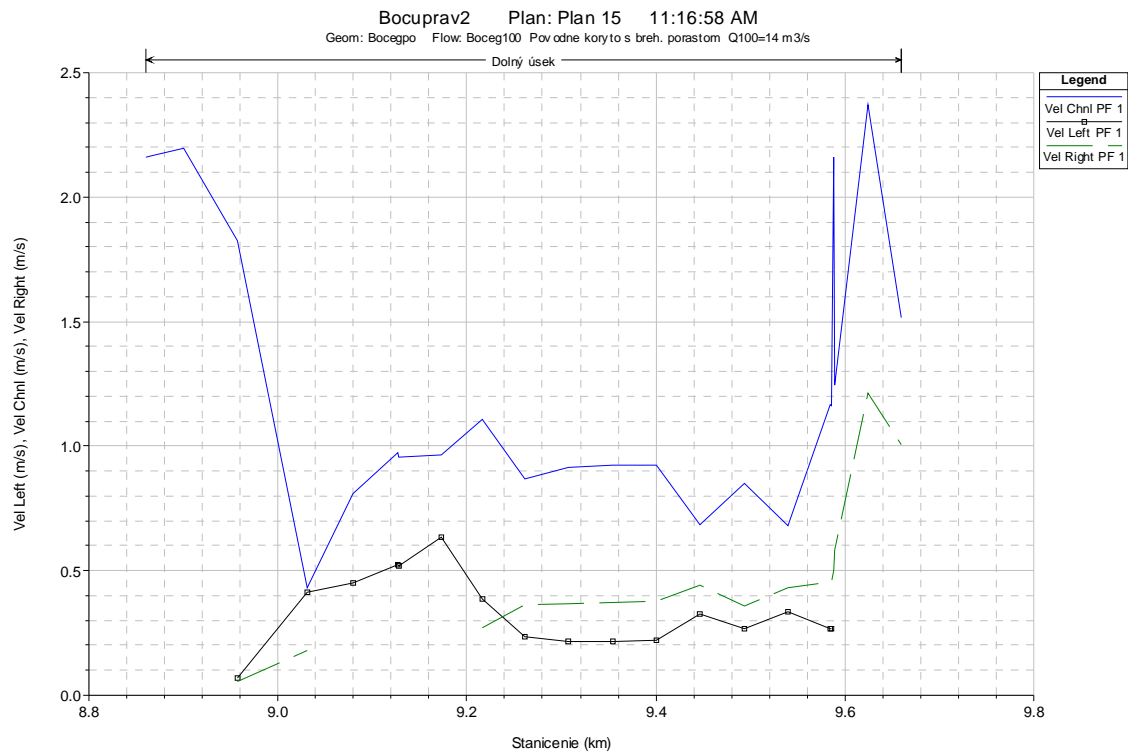
Obrázok 17: Znáozornenie priebehu kumulatívnych objemov vody- celkový objem, koryto, ľavú a pravú inundáciu-tok s revitalizačnými prvkami a brehovým porastom pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



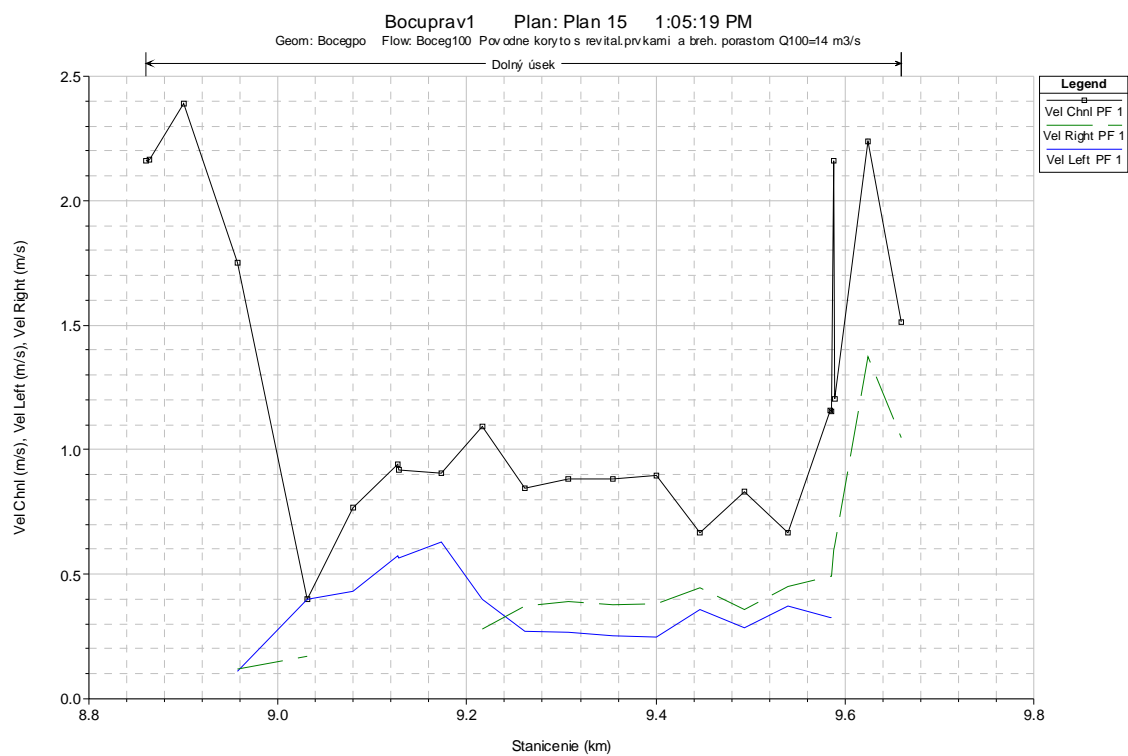
Obrázok 18: Znáozornenie priebehu profilových rýchlostí koryto, ľavú a pravú inundáciu pre pôvodné koryto pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



Obrázok 19: Znáozornenie priebehu profilových rýchlostí koryto, ľavú a pravú inundáciu pre koryto s revitalizačnými prvkami pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



Obrázok 20: Znáornenie priebehu profilových rýchlostí koryto, ľavú a pravú inundáciu pre pôvodné koryto s brehovým porastom pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$



Obrázok 21: Znáornenie priebehu profilových rýchlostí koryto, ľavú a pravú inundáciu pre koryto s revitalizačnými prvkami a brehovým porastom pri $Q_{100}=14m^3 \cdot s^{-1}$

Obrázky 14 až 17, ktoré znázorňujú kumulatívne krivky akumulovanej vody v koryte a v inundačnom území dokazujú, že najvýznamnejšia akumulácia vody pre pôvodné upravené koryto (obr. 14) je v koryte samotnom (4000 m^3) a v inundáciách dosahuje 1000 m^3 resp. 2000 m^3 . K podobnému rozdeleniu akumulácie vody dochádza v I. alternatíve na obrázku 15 (spolu 8000 m^3). K výraznému nárastu dochádza v II. alternatíve (obr. 16), kde pozorujeme vyrovnanie objemov vody pre koryto, ľavostrannú a pravostrannú inundáciu (po cca 6000 m^3), hlavne vplyvom retardačného účinku navrhutej vegetácie. Pri III. alternatíve došlo k minimálnemu nárastu akumulovanej vody (cca o 200 m^3), čo len potvrdzuje skutočnosť minimálneho vplyvu revitalizačných prvkov zvoleného typu na retardáciu odtoku a akumuláciu vody v koryte toku počas povodňových prietokov (obr. 17).

Na obrázkoch 18 až 21 sú znázornené priebehy hodnôt priemerných profilových rýchlostí v jednotlivých profiloch. Pre pôvodné koryto (obr.18) profilové rýchlosti dosahujú hodnoty rozpätie $1,14$ až $3,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V miestach vyliatia vody na bermu prirodzene vyformovaného lichobežníkového profilu a v inundáciách v priestoroch údolnej nivy dochádza k poklesu profilových rýchlostí v dôsledku spomalenia vodného prúdu pomalšie prúdiacou vodou na bermách a povrchoch inundačného územia. Pri alternatíve I. (obr.19) dochádza k miernemu poklesu rýchlostí a alternatíva II. Znovu dokazuje výrazný retardačný a s ohľadom na materiál koryta aj ochranný účinok brehovej vegetácie voči účinkom prúdiacej vody. Priemerná profilová rýchlosť klesla na hodnotu $v = 1,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V alternatíve III. nedošlo k výrazným zmenám oproti predchádzajúcemu prípadu. Tieto skutočnosti potvrdzujú výrazný ochranný účinok brehovej vegetácie voči účinkom prúdiacej vody pri povodňových prietokoch, čo konečnom efekte znamená minimalizovanie nárokov z hľadiska opevňovania korýt tokov.

ZÁVER

Výsledky simulácií so softvérovým prostriedkom HEC-RAS nás priviedli k záverom, že použitie klasických revitalizačných prvkov (napr. výhony, usmerňovače a vzdúvacie prahy) nemá výrazný vplyv na retardáciu odtoku a zvýšenie akumuláciu vody v koryte toku pri povodňových prietokoch. Kladné pôsobenie sa prejavuje pri minimálnych vodných stavoch počas letných mesiacov. Najlepší efekt, z hľadiska našich cieľov, však preukázali biotechnické opatrenia, konkrétne výsadba brehovej a sprievodnej vegetácie pozdĺž skúmaného toku. Navrhnuté biotechnické opatrenia (v alternatíve II.) spôsobili zvýšenie akumulácie vody v koryte a v inundačnom území pri Q_{100} až o 200% . Priaznivé pôsobenie brehovej a sprievodnej vegetácie spočíva i v poklese bodových rýchlostí v blízkosti omočeného obvodu prietokového profilu, čo umožňuje znižovať stupeň ochrany koryta pri návrhu opevnenia. Retardačný účinok vegetácie sa prejavil i v predĺžení doby prechodu schematizovanej povodňovej vlny s dobou opakovania raz za 100 rokov až o $3,1$ násobok. Vplyvom predĺženia doby odtoku povodňovej vlny o objeme zodpovedajúcom $W_{100} = 0,313 \text{ mil. m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ došlo ku poklesu hodnoty kulmináčného prietoku prechádzajúcim korytom pri III. alternatíve na $Q = 7,8 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Práca so softvérom HEC-RAS potvrdila fakt, že je to softvérový nástroj vhodný na riešenie úloh inžinierskej hydrologie a hydrauliky, s vysokým aplikačným potenciálom, priateľským užívateľským prostredím a so širokou škálou voliteľných grafických a textových výstupov.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1.] ANTAL, J., ŠPÁNIK, F.2004. Hydrologia poľnohospodárskej krajiny. Nitra: SPU, 2004. 250s. ISBN 80-8069-4281
- [2.] ARCEMENT, G. J., SCHNEIDER, V. R., 2000. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. United States Geological Survey Water-supply Paper 2339, 2000. 67s.
- [3.] CHOW, V.T. 1964. Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology. New York: McGraw-Hill, 1450 s.
- [4.] HALAJ, P. 2004. Revitalizácia vodných tokov. Nitra : Vydavateľstvo SPU, 2004. 204 s. ISBN 80-8069-424-9
- [5.] KALÚZ, K.- HOLČÍK, V.: Vodné hospodárstvo. Pre FZKI. Nitra : SPU, 2002. 138 s. ISBN: 80-8069-033-2

- [6.] MACURA, V., IZAKOVIČOVÁ, Z. et al. 2000. Krajinnoekologické aspekty revitalizácie tokov. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2000. 274 s.
- [7.] NOVOTNÁ, B., BÁREK, V.: Klimatická zmena a jej dopad na priebeh odtoku poľnohospodársky využívaného povodia. In: Veda mladých 2004 [elektronický zdroj] : Zborník vedeckých príspevkov, Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2004. - ISBN 80-8069-419-2. - S. 160-165. - 1 elektronický optický disk (CD ROM).
- [8.] OTN ŽP 3112-1:03: Kvalita povrchových a podzemných vôd. Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia povodňového režimu. Časť 1: Stanovenie N-ročných prietokových vln na väčších tokoch, 2003.
- [9.] U.S. Army Corps of Engineers: "River Analysis System," HEC-RAS, User's Manual Version 3.0, Hydrologic Engineering Center, Davis, 2001.

Kontakt:

Ing. Peter Halaj, CSc., Katedra krajinného inžinierstva, FZKI, SPU v Nitre, Hospodárska 7, 949 76 Nitra, Peter.Halaj@uniag.sk

Táto práca vznikla vďaka podpore projektov: VEGA 1/3470/06, VEGA 2/6018/06 APVT-51-019804.