

**POSÚDENIE VPLYVU VYUŽITIA ÚZEMIA
A MANAŽMENTU NA TVORBU ODTOKU V POVODÍ MYJAVY**

Peter Valent, Peter Rončák, Marcela Maliariková, Silvia Kohnová, Ján Szolgay, Kamila Hlavčová

Štúdia je zameraná na posúdenie vplyvu spôsobu využitia územia a manažmentu na hydrologický režim na povodí Myjavy. Vplyv spôsobu využitia územia na odtokové procesy bol simulovaný fyzikálne orientovaným zrážkovo-odtokovým modelom s priestorovo rozčlenenými parametrami. Bol porovnaný spôsob využitia územia podľa historických máp a súčasného stavu. Boli vytvorené viaceré scenáre, predpokladajúce extrémne zmeny vo využití územia (napr. úplné zalesnenie alebo nahradenie trávnatých porastov ornou pôdou), ako aj reálne scenáre na zvýšenie retenčnej schopnosti povodia a zníženie erózie pôdy (napr. zohľadňujúce zásady pestovania poľnohospodárskych plodín na prípustných sklonoch svahov). Za predpokladu uvedených scenárov boli simulované a posúdené zmeny celkového odtoku, s dôrazom na povrchový odtok a zmeny v maximálnych a návrhových prietokoch v záverečnom profile povodia. Výsledky analýzy zmeny využitia územia ukázali, že od 18. storočia sa postupne zväčšuje plocha povodia pokrytá lesom a naopak klesá percentuálne zastúpenie ornej pôdy. Výsledky simulácie odtoku z povodia ukázali, že ani za predpokladu scenára uvažujúceho so správnymi postupmi obhospodarovania poľnohospodárskej pôdy nedochádza k výraznému zníženiu hodnôt N-ročných prietokov.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: historické mapy, využitie územia, model WetSpa, zrážkovo-odtokové modelovanie

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LAND USE AND MANAGEMENT ON THE GENERATION OF RUNOFF FROM THE MYJAVA RIVER BASIN. This study is focused on the assessment of the impact of land use and land management on the hydrological regime of the River Myjava basin. The impact of the land use on the runoff processes was simulated using a physically-based and spatially distributed rainfall-runoff model. An analysis of the development of the land use change over the period of almost 250 years was done using historical maps and the current mapping as sources of land use information. In addition, several land use scenarios were created, assuming extreme changes in the utilization of land (i.e. total afforestation of the catchment or the substitution of arable land with grasslands), as well as real scenarios focussed on the increasing of the retention capacity of the catchment, and decreasing of soil erosion (i.e. following good agricultural practices). The created scenarios were used in the rainfall-runoff modelling as model inputs and their impact on maximum design discharges at the catchment outlet was evaluated. The results of the land use change analysis showed that since the 18th century the catchment area covered by forest has continuously been increasing while the percentage of the arable land decreasing. The results of the runoff simulation demonstrated that the even under the scenario following good agricultural practices no significant changes in the values of N-year floods could be observed.

KEY WORDS: historical maps, land use, WetSpa model, rainfall-runoff modelling

Úvod

Intenzívne pretváranie pôvodnej krajiny vo väčšine prípadov so sebou prináša problémy, medzi ktoré možno zaradiť napr. zrýchlenie odtoku z povodia, častejší výskyt bleskových povodní, v poľnohospodárstve alebo lesnom hospodárstve pri obhospodarovaní

väčších plôch aj výraznú pôdnu eróziu, ktorá sa môže v časoch intenzívnych zrážok prejaviť bahennými povodňami. Nezanedbateľným problémom spôsobeným odlesňovaním a intenzifikáciou poľnohospodárstva je aj zhoršenie retenčnej schopnosti povodia, čo má za následok zvýšený deficit vody v pôde počas výskytu suchých období a nedostatočné zásobenie podzemných vôd.

Keďže spôsob využitia územia výrazným spôsobom ovplyvňuje procesy tvorby odtoku z povodia, skúmanie vplyvu zmeny využitia územia na odtok z povodia patrí medzi aktuálne témy súčasnosti (pozri napr. Ray a kol., 2010; Luo a kol., 2013; Valent a kol., 2016; Hlavčová a kol., 2007). Najväčším problémom pri riešení takýchto úloh je získanie spoľahlivých a dostatočne podrobných informácií o vývoji využitia územia v minulosti. Najdôležitejším podkladom pre získanie uvedených údajov sú historické mapové diela, ktoré okrem iného v rôznej miere obsahujú aj informácie o spôsobe využitia územia a krajinnom kryte.

V tejto práci je prezentovaná analýza zmeny využitia územia a jej vplyv na hodnotu maximálnych návrhových prietokov v povodí rieky Myjava so záverečným profilom v stanici Šaštín-Stráže. Vybrané povodie, ktorého severná časť zasahuje do Myjavskej pahorkatiny, je najmä vďaka pretvoreniu pôvodnej lesnej krajiny na krajinu poľnohospodársku charakteristické zrýchleným odtokom a výraznou vodnou eróziou. Tá sa za posledné pol storočie zhoršila natoľko, že severná časť povodia má v súčasnosti najväčšiu hustotu trvalých erózných výmoľov na Slovensku (Stankoviansky, 2003). Vývoj zmeny využitia územia bol dokumentovaný na troch historických mapách a bol porovnaný so súčasnou mapou využitia územia. Samotný vplyv využitia územia na odtokové procesy bol simulovaný pomocou zrážkovo-odtokového modelu WetSpa s priestorovo rozčlenenými parametrami.

Materiál a metódy

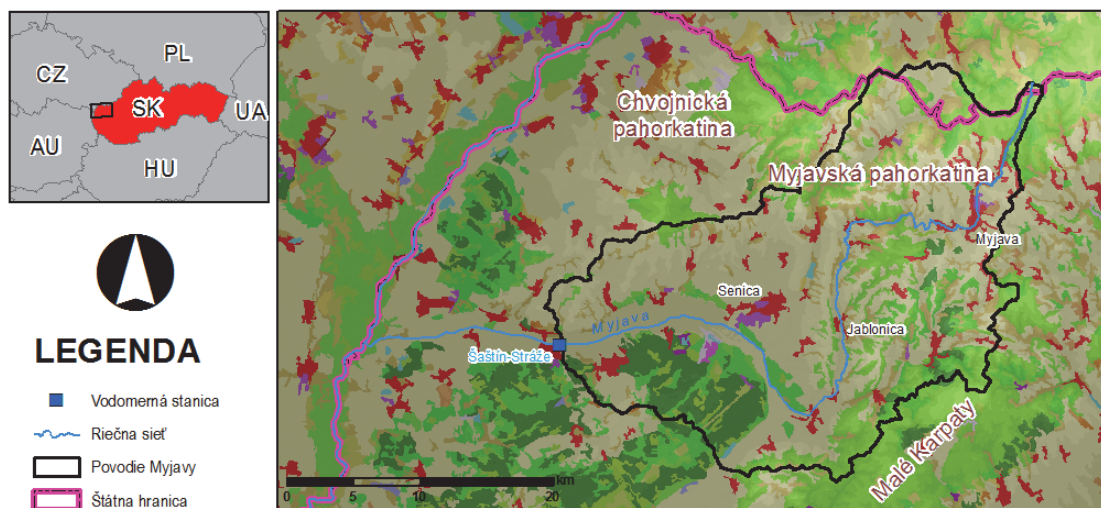
Charakteristika územia

Povodie rieky Myjava sa nachádza v prevažne hornej oblasti Myjavskej pahorkatiny v západnej časti Slovenska. Územie je do značnej miery ovplyvnené a pretvárané človekom, pričom najväčšie zmeny nastali v 18. st.

vplyvom kopaničiarskej kolonizácie a neskôr v 2. polovici 20. st., v období kolektívizácie poľnohospodárstva. Vzhľadom na takýto historický vývoj krajiny patrí povodie medzi územia charakteristické rýchlym odtokom a následnými bahennými povodňami. Hlavný tok povodia tvorí rieka Myjava a jej prítoky, vymedzujúce povodie s plochou 621,7 km². Územie patrí k pomerne členitým geomorfologickým celkom s najvyšším vrchom Veľká Javorina (969,8 m n. m.). Prevažná časť povodia patrí do mierne teplej oblasti s priemernou ročnou teplotou vzduchu okolo 10 °C a s prevládajúcim severným až severozápadným prúdením vetrov (max. priemerná rýchlosť 60 km.h⁻¹). Priemerný ročný úhrn zrážok sa pohybuje od 550 – 600 mm, v najsevernejších častiach od 900 – 1000 mm. Prirodzenú vegetáciu tvoria prevažne lesné spoločenstvá, zastúpené prevažne listnatými lesmi (zmiešané a ihličnaté lesy sa vyskytujú vo vyšších častiach povodia) (Žarnovičan, 2008).

Spôsoby identifikácie zmien využitia územia

Vzhľadom na fakt, že vegetácia je súčasťou takmer všetkých krajinných zložiek, najzreteľnejším prejavom zmien krajiny sú práve zmeny krajinnnej pokrývky (v angl. *land cover*), ktoré úzko súvisia s meniacim sa využívaním územia (v angl. *land use*) (Feranec a Otáhel, 2001). V práci Čengerovej (2009) bol načrtnutý nový krajinnoeekologický prístup využívania rastlinných spoločenstiev, ako indikátorov zmien spôsobu využitia územia. Pri identifikácii vývoja krajiny predstavujú veľký potenciál i zachované mapové diela. Historické vojenské mapy, topografické mapy, základné mapy, ako aj letecké snímky z 20. st. zachytávajú krajinu v rozpätí približne 250 rokov a poskytujú tak hodnotný zdroj informácií o jej vývoji. V súčasnosti sa pri identifikácii zmien využitia územia čoraz častejšie využívajú letecké snímky z diaľkového prieskumu Zeme (Boltižiar, a kol. 2013).



Obr. 1. Umiestnenie povodia Myjavy v rámci Slovenska.

Fig. 1. Position of the Myjava River basin within Slovakia.

Vektorizácia historických máp

Pri analýze zmien využitia územia boli použité historické mapy z I. vojenského mapovania (1769 – 1784), II. vojenského mapovania (1819 – 1827, 1837 – 1858) a topografické mapy v mierke 1:25 000 (1953 – 1957). Výber daných podkladov bol podmienený ich dostupnosťou na internete, portáloch alebo v archívoch, kvalitou a detailnosťou zobrazenia, ako aj pokryvnosťou územia. Na porovnanie historického a súčasného stavu bola použitá mapa súčasného využitia územia, ktorá vychádzala z mapovania CORINE z roku 2006. To bolo doplnené údajmi z leteckého snímkovania (vykonané pre potreby aktualizácie ZB GIS) a údajov o využití územia spracovaných Národným lesníckym centrom vo Zvolene. Tieto tri zdroje informácií boli použité pre vytvorenie mapy využitia územia pre rok 2010 (SUC LU) (spracované firmou ESPRIT). Historické mapy (I. VM, II. VM a TM 25) boli dostupné ako georeferencované rastrové súbory vo formáte TIF (obr. 2). S týmto typom súborov nebolo možné vykonávať analýzy (nemajú explicitne určené typy krajinných prvkov) a z toho dôvodu bolo potrebné ich prevedenie do vektorovej formy. Najpresnejším, ale časovo náročným spôsobom vektorizácie týchto máp je „manuálna“ vektorizácia, pomocou ktorej sú identifikované hranice a spôsob využitia územia. Keďže sa podrobnosť jednotlivých podkladov od seba líši, pre každú z máp bol identifikovaný iný počet kategórií využitia územia. Vektorizácia mapových podkladov bola spracovaná v prostredí ArcGIS. Viac o vektorizácii historických máp možno nájsť v prácach Velhartický (2009) alebo Maliariková (2015).

Analýza zmien spôsobu využitia územia

Analýza zmien spôsobu využitia územia je matematické, resp. percentuálne vyjadrenie identifikovaných krajinných prvkov na jednotlivých mapách a ich vzájomné porovnanie s cieľom zistiť ich prípadný úbytok, resp. prírastok. Pri analýze boli spracované všetky rozpoznateľné typy využitia územia, no nie každý z nich bol identifikovateľný na každej z historických máp. Zapríčinené je to tým, že mapy vznikali v rôznych časo-

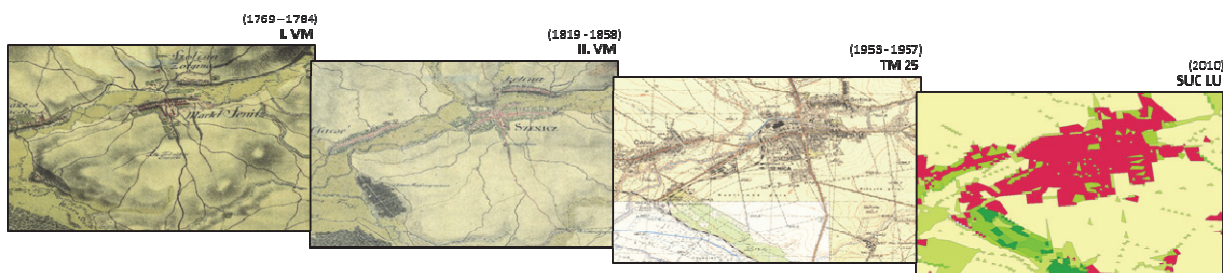
vých obdobiach a tiež dostupnou technikou a metodikou danej doby. Informácie o spôsobe využitia krajiny, ktoré predstavujú jadro celej analýzy, tvoria 4 hlavné prvky: orná pôda, lesy, trávnaté spoločenstvá a urbanizované plochy.

Scenáre možných spôsobov využitia územia

V snahe kvantifikovať vplyv spôsobu využitia územia a niektorých postupov manažmentu krajiny na odtok z povodia, boli v práci vytvorené tri scenáre predpokladajúce či už extrémne zmeny vo využití krajiny, alebo zahŕňajúce niektoré opatrenia na zvýšenie retenčnej schopnosti krajiny a zníženie erózie pôdy. Podkladom pre tvorbu všetkých scenárov bol súčasný stav využitia územia SUC LU. Prvé dva scenáre možno označiť za extrémne, pričom v prvom scenári (SC1-lesy) sme predpokladali, že celé územie povodia s výnimkou zastavaných území tvorí listnatý les, ktorý predstavuje potenciálnu prirodzenú vegetáciu daného územia (AKSR, 2002). V rámci druhého extrémneho scenára (SC2-poľn.) sme uvažovali s nahradením všetkých plôch s trávnatým porastom poľnohospodárskou pôdou. Tretí scenár (SC3-manaž.) zohľadňoval niektoré postupy manažmentu krajiny zamerané na zníženie erózie a redukciu povrchového odtoku. V rámci tohto scenára boli na území so sklonom menším ako 12 % trávnaté plochy nahradené poľnohospodárskou pôdou (2,1 % celkovej plochy povodia). Na územiach so sklonom v rozmedzí 12 – 20 % bola všetka poľnohospodárska pôda nahradená nízkou trávou (0,25 % celkovej plochy povodia) a na všetkých územiach so sklonom nad 20 % boli územia pokryté poľnohospodárskou pôdou a nízkou trávou nahradené lesnými porastmi tvorenými listnatými lesmi (2,7 % celkovej plochy povodia).

Modelovanie odtoku zrážkovo-odtokovým modelom

Pre posúdenie vplyvu zmien využitia územia na odtok z povodia bol použitý zrážkovo-odtokový model s rozčlenenými parametrami WetSpa (Wang a kol., 1996). Model bol vyvinutý na Vrije univerzite v Bruseli v Belgicku a slúži na simuláciu a predpoveď prenosu vody a energie medzi pôdou, rastlinstvom a atmosférou.



Obr. 2. Příklad použitých historických máp a mapy současného využitia územia, použité v tejto práci.
Fig. 2. An example of the historical maps and concurrent maps of land use used in this study.

Povodie je v modeli rozdelené štvorcovou sieťou na homogénne priestorové jednotky - bunky), v ktorých sa počíta vertikálna hydrologická bilancia a z ktorých sa simuluje pohyb vody do záverečného profilu povodia. Model pracuje s priestorovo-rozčlenenými parametrami prostredia odvodenými z digitálneho modelu reliéfu, mapy pôdných druhov, mapy spôsobu využitia územia a s 12 globálnymi parametrami, ktoré sú konštantné pre celé povodie, a ktorých hodnoty sú optimalizované v procese kalibrácie modelu. Na vyjadrenie zhody medzi pozorovanými a namodelovanými údajmi sa počas kalibrácie použil Nash-Sutcliffeov koeficient (Nash a Sutcliffe, 1970). Viac informácií o použití modelu WetSpa možno nájsť v prácach Horvát a kol. (2004) alebo Valent a kol. (2016).

Vplyv využitia územia na odtok z povodia bol simulovaný s využitím zrážkovo-odtokového modelu WetSpa. Mapa spôsobu využitia územia predstavuje v modeli jeden zo základných priestorových vstupov, z ktorého sa odvodzujú priestorovo-rozčlenené fyzikálne orientované parametre modelu, charakterizujúce spôsob využitia územia (pozri tabuľku 1). Tieto parametre sa v modeli nekalibrujú. Kalibrácia globálnych parametrov modelu bola vykonaná na kalibračnom období 1997 – 2010 a pri kalibrácii bola použitá súčasná mapa využitia územia z roku 2010 (SUC LU).

V rámci tejto práce bol zrážkovo-odtokový model WetSpa použitý v dvoch prípadoch: 1) pre posúdenie vplyvu zmeny využitia územia na extrémny odtok z povodia a pre 2) posúdenie vplyvu troch scenárov využitia krajiny na zmenu maximálnych návrhových

prietokov v záverečnom profile povodia.

Odhad maximálnych návrhových prietokov

Maximálne návrhové prietoky boli v práci odhadované z radu maximálnych ročných priemerných denných prietokov pomocou postupov, ktoré sú štandardne používané v SRN (DVWK, 1999). V rámci týchto postupov je zostrojená teoretická čiara prekročenia prietokov, ktorá je následne použitá pre odhad návrhových prietokov s danou dobou opakovania. Na zostrojenie teoretickej čiary prekročenia je v rámci metódy použitých niekoľko štatistických rozdelení pravdepodobnosti, pričom vhodné štatistické rozdelenie je vybrané na základe Kolmogorov-Smirnovho testu. V rámci práce boli použité tieto rozdelenia pravdepodobnosti: Gumbelove rozdelenia (EV1 a EV2), generalizované extrémne rozdelenie (GEV), Rossiho rozdelenie (ME), 3-parametrické logaritmicke – normálne rozdelenie (LN3), 3-parametrické rozdelenie Pearsona (P3), 3-parametrické rozdelenie logPearson (LP3) a 3-parametrické rozdelenie Weibulla (WB3). Pri konštrukcii empirickej čiary prekročenia bola pravdepodobnosť prekročenia vypočítaná podľa nasledovného vzťahu (Cunnane, 1988):

$$P = \frac{m - 0,4}{n + 0,2} \quad (1)$$

kde n je počet rokov pozorovaní a m je poradové číslo zostupne zoradených hodnôt analyzovaného radu.

Tabuľka 1. Parametre modelu WetSpa odvodené z mapy využitia územia podľa Horvát a kol. (2009)
Table 1. WetSpa model parameters derived from land use maps according to Horvát et. al (2009)

Využitie územia	Hĺbka koreňovej zóny (m)	Manningov súčiniteľ drsnosti (-)	Max. kapacita intercepce (mm)	Min. kapacita intercepce (mm)	Index listovej pokrývnosti (mm)
Orná pôda	1,0	0,15	1,0	0,0	0,5 – 6,0
Nízka tráva	1,0	0,20	1,0	0,0	0,5 – 2,0
Ihličnaté lesy	1,5	0,40	4,0	0,3	5,0 – 6,0
Opadavé ihličnaté lesy	1,5	0,40	4,0	0,15	1,0 – 6,0
Listnaté lesy	2,0	0,80	2,0	0,05	1,0 – 6,0
Zmiešané lesy	2,0	0,60	3,0	0,15	3,0 – 6,0
Vysoká tráva	1,0	0,40	1,5	0,15	1,0 – 6,0
Zavlažovaná pôda	1,0	0,20	1,0	0,05	0,5 – 6,0
Močiare	1,0	0,20	0,5	0,0	0,5 – 6,0
Kosodrevina	1,0	0,40	1,5	0,15	5,0 – 6,0
Prechodné lesokroviny	1,0	0,40	1,5	0,05	1,0 – 6,0
Holá pôda	0,5	0,02	0,5	0,0	0,5 – 2,0
Nepriepustné plochy	0,2	0,10	0,2	0,0	0,0
Vodné plochy a toky	0,5	0,04	0,0	0,0	0,0

Výsledky a diskusia

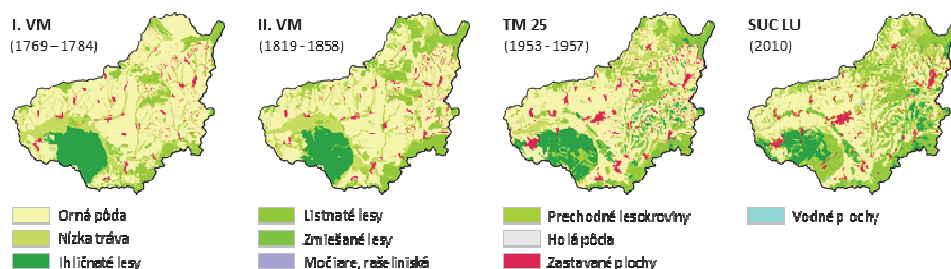
Vektorizácia historických máp

Výsledky dosiahnuté v procese spracovania, resp. vektorizácie historických máp majú dvojaký charakter. Prvý typ dosiahnutých výsledkov je v podobe metodického návrhu postupu vektorizácie máp, ktorý je detailne popísaný v prácach Maliarikovej (2015) a Behana (2016). Druhým typom výsledkov, dosiahnutých digitalizáciou mapových podkladov, sú grafické výstupy v podobe rastrových máp využitia územia. Tieto mapy sú spracované v rôznych časových horizontoch (I. VM, II. VM, TM 25, SUC LU) pre celé riešené povodie (Obr. 3). Na takýchto výstupných rastrových mapách možno pozorovať značné zmeny medzi súčasným stavom a stavom z historických máp, predovšetkým na plochách lesa („listnatý les“), poľnohospodárskej pôde („orná pôda“), ako aj urbanizovaných plochách („sídla“) a trávnatých porastoch („nízka tráva“).

Analýza zmien spôsobu využitia územia

Výpočtom percentuálneho zastúpenia rôznych spôsobov, resp. typov využitia územia k celkovej ploche záujmového územia boli získané číselné (tabuľka 2) a grafické výsledky (Obr. 4), na základe ktorých dokážeme zhodnotiť stav krajiny v minulosti a dnes. Na mapách z I. VM je detailnosť spracovania relatívne nízka, vzhľadom na skutočnosť, že ide o najstaršie mapovanie

vykonané na našom území. Identifikovaných bolo 5 krajinných prvkov (spôsobov využitia územia) zakreslených jednoduchými značkami, prípadne zmenou tónu farby, ktoré boli rozpoznávané skôr intuitívne. V prípade II. VM je výhodou relatívne vysoká presnosť, avšak nevýhodou je priveľké množstvo informácií znázornených na malom priestore. To spôsobuje zhoršenú čitateľnosť mapy a nepresnosti pri interpretácii hraníc typov využitia územia. Identifikovaných bolo v danom prípade 6 prvkov. Na podrobnejších podkladoch z TM 25 bola identifikácia prvkov jednoduchá, pretože mapový kľúč bol totožný so zákresom v mape. To uľahčovalo rozpoznávanie jednotlivých kategórií, ktorých bolo v tomto prípade 7. Súčasná mapa využitia územia, používaná ako porovnávací, znázorňuje ešte aj 8. prvok v podobe vodných plôch, ktoré sú spolu s percentuálnym vyjadrením jednotlivých typov uvedené v tab. 2. Ako z číselnej (tabuľka 2), tak i grafickej interpretácie výsledkov (obr. 4) vyplýva, že v minulosti prevládala poľnohospodárska pôda, ktorú prelínali nízke trávy v podobe lúk a pasienkov a postupne narastajúce plochy lesných porastov. Na mape z I. VM zaberala orná pôda takmer 62 % celkovej plochy územia a lesy pokrývali len necelých 22 %. Situácia sa vplyvom historického vývoja menila a po 2. svetovej vojne nastal na mapách z II. VM a TM 25 úbytok poľnohospodársky využívannej pôdy skoro o 8 % a nárast lesných spoločenstiev o viac ako 2,5 % v prípade II. VM a približne o 4,5 % v prípade TM 25.



Obr. 3. Mapy využitia územia pre povodie rieky Myjava (I. VM, II. VM, TM 25, SUC LU).

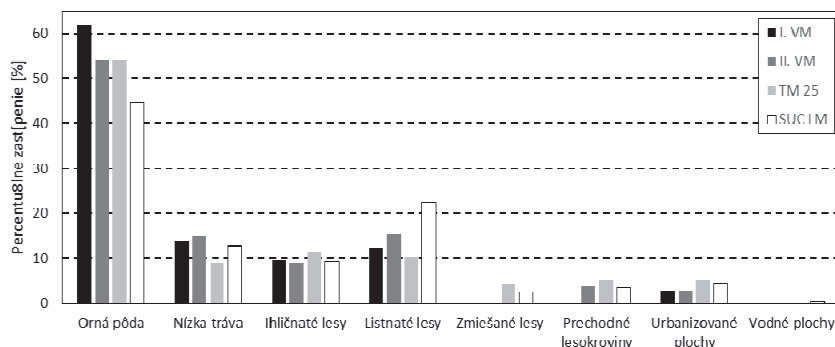
Fig. 3. The land use maps from various time intervals of the Myjava River basin (I. VM, II. VM, TM 25, SUC LU).

Tabuľka 2. Percentuálne vyjadrenie jednotlivých spôsobov využitia územia

Table 2. The percentage of the individual land use types within the Myjava River basin

Využitie územia (krajinné prvky)	I. VM	II. VM	TM 25	SUC LU
Orná pôda	61,7	54,0	54	44,7
Nízka tráva	13,8	15,0	8,9	12,7
Ihličnaté lesy	9,6	9,0	11,5	9,3
Listnaté lesy	12,2	15,4	10,3	22,4
Zmiešané lesy	—	—	4,5	2,5
Prechodné lesokroviny	—	3,9	5,4	3,6
Urbanizované plochy	2,7	2,7	5,4	4,5
Vodné plochy	—	—	—	0,3

(Pozn.: Na mape z I. a II. VM nebolo možné rozlíšiť zmiešaný typ lesa. Okrem toho, prechodné lesokroviny, ktoré v ostatných mapách zaberajú nezanedbateľnú časť územia, v mapách I. VM nie sú identifikovateľné a pravdepodobne sú súčasťou inej kategórie).



Obr. 4. Porovnanie percentuálneho zastúpenia rozličných spôsobov využitia územia v povodí rieky Myjava.

Fig. 4. Comparison of the percentages of various land use types in the Myjava River basin.

Z dosiahnutých výsledkov analýzy vyplýva, že spôsob využitia územia sa postupne mení k lepšiemu. Dramatické zmeny, ktoré narušili krajinnú štruktúru povodia rieky Myjava nastali už v minulosti, predovšetkým vplyvom kolonistov, intenzívneho obhospodarovania pôdy a neskôr vplyvom kolektívizácie. Dnes dosiahli lesy oproti stavu z I. VM nárast o viac ako 12 % a plochy ornej pôdy klesli o 17 %, čo môže priaznivo vplyvať i na odtokové pomery v danom povodí.

Modelovanie odtoku z povodia

Kalibrácia modelu

Pri kalibrácii modelu bola ako optimalizačná funkcia pre posúdenie zhody medzi pozorovanými a simulovanými prietokmi použitý Nash-Sutcliffeov koeficient. Tento nadobudol hodnotu 0,65, čo znamená, že model dosiahol viac ako priemernú presnosť simulácie. Odtok z povodia v minulých obdobiach, ktoré boli charakterizované rozdielnym spôsobom využitia územia bol simulovaný tak, že ako vstupné hodnoty do modelu boli použité klimatické a hydrometeorologické údaje za obdobie 1997 – 2010, globálne parametre modelu, ktorých kalibrácia bola opísaná vyššie a mapa využitia územia reprezentujúca príslušné historické obdobie (I. VM, II. VM, TM 25 a SUC LU).

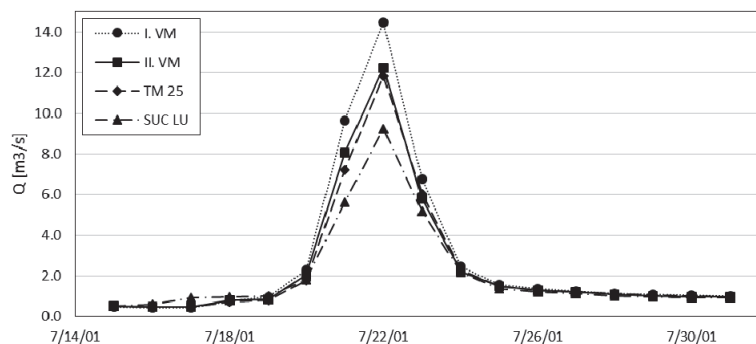
Vplyv využitia územia na extrémny odtok

Schopnosť modelu zohľadniť vplyv zmeny využitia územia na odtok z povodia bola posúdená porovnaním hydrogramu priemerných denných prietokov simulovaných pre vybranú povodňovú situáciu. Ako referenčná bola vybraná povodňová situácia z júla 2001. Výsledky simulácie sú zobrazené na obr. 5, kde ako vstupy do modelu boli použité mapy využitia územia reprezentujúce príslušné historické obdobie. Výsledky simulácie ukazujú, že veľkosť povodňovej vlny (kulminálny prietok a objem) závisí od podielu poľnohospodárskej pôdy a lesov z celkovej plochy povodia. Tento argu-

ment možno potvrdiť aj malým rozdielom medzi simulovanými kulminálnymi prietokmi získanými v rámci použitia map využitia územia v obdobiach reprezentujúcich II. VM a TM 25, ktoré sú charakteristické rovnakým percentuálnym zastúpením poľnohospodárskej pôdy z celkovej plochy povodia, a len malým rozdielom v ploche lesov v prospech II. VM.

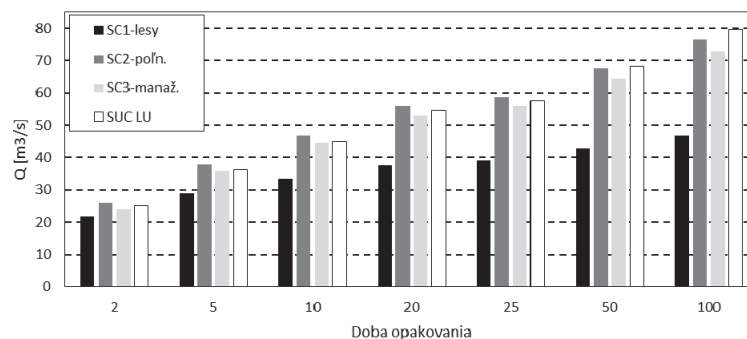
Vplyv scenárov využitia územia na hodnoty návrhových prietokov

V rámci práce bol nakalibrovaný zrážkovo-odtokový model WetSpa použitý aj na posúdenie troch rôznych scenárov využitia územia na hodnoty maximálnych návrhových prietokov v stanici Šaštíň-Stráže. Výsledky simulácií sú zobrazené na obr. 6 a ukazujú, že najmenšie hodnoty maximálnych návrhových prietokov boli dosiahnuté s využitím scenára SC1-lesy, pri ktorom bolo celé povodie okrem zastavaného územia pokryté listnatým lesom. Takýto výsledok možno označiť za očakávaný, keďže lesy majú najväčšiu schopnosť zadržiavať vodu v krajine a teda spomaľovať odtok z povodia. Vo väčšine prípadov boli najväčšie hodnoty návrhových prietokov dosiahnuté v rámci scenára SC2-poľn., v rámci ktorého boli všetky plochy s trávnatým porastom nahradené poľnohospodárskou pôdou. Tá je charakteristická slabou retenčnou schopnosťou a skorou tvorbou povrchového odtoku, čo má za následok vysoké hodnoty prietokov pri extrémnych povodňových udalostiach, tak ako možno vidieť na obr. 5 v prípade hydrogramu vyvolaného odtokom z územia s najväčším podielom poľnohospodárskej pôdy (I. VM). V prípade scenára SC3-manaž., v ktorom sme sa snažili zohľadniť správne postupy manažmentu krajiny, v rámci ktorých boli poľnohospodársky využívané iba územia so sklonom menším ako 12 %, sme zaznamenali malé zmenšenie hodnôt návrhových prietokov v porovnaní so scenárom SUC LU. Výsledky zobrazené na obr. 6 však naznačujú, že toto zníženie je veľmi malé a to najmä v prípade návrhových prietokov s nízkou dobou opakovania.



Obr. 5. Porovnanie simulovaných hydrogramov priemerných denných prietokov na toku Myjava v stanici Šaštín-Stráže v rámci povodne z júla 2001.

Fig. 5. Comparison of simulated hydrographs of mean daily discharges in the Myjava River at Šaštín-Stráže during the July 2001 flood.



Obr. 6. Porovnanie hodnôt návrhových prietokov pre rôzne N-ročnosti a scenáre využitia územia.

Fig. 6. Comparison of the design discharges estimated for various return periods and land use scenarios.

V prípade väčších dôb opakovania sú rozdiely markantnejšie. Tieto však do veľkej miery môžu byť spôsobené aj výberom vhodného štatistického rozdelenia použitého pri zostrojení teoretickej čiary prekročenia prietokov, pričom hodnoty návrhových prietokov s dobou opakovania väčšou ako 25 rokov sú do značnej miery poznačené veľkými neistotami spôsobenými extrapoláciou čiary prekročenia prietokov.

Záver

Predložený článok sa venuje posúdeniu vplyvu zmeny využitia územia a manažmentu krajiny na odtok z povodia rieky Myjava so záverečným profilom v stanici Šaštín-Stráže. Údaje o spôsobe využitia územia boli získané z troch historických mapových podkladov, ktoré boli vektorizované v prostredí ArcGIS. Analýza využitia územia bola vykonaná na troch historických mapách: I. vojenské mapovanie (1764 – 1787), II. vojenské mapovanie (1819 – 1858) a vojenské topografické mapovanie (1952 – 1957), ktoré boli porovnané so súčasným

spôsobom využitia územia z roku 2010. Z analýzy vyplýva, že najväčšie zmeny možno pozorovať v ploche lesných porastov a poľnohospodárskej pôdy, pričom najmenšia rozloha lesov bola zaznamenaná v najstaršom období (I. VM) počas kopaničiarskej kolonizácie, kedy došlo k rapidnému odlesňovaniu pôdy v prospech získavania ornej pôdy. Neskôr došlo k postupnému zalesňovaniu ťažko prístupnej poľnohospodárskej pôdy a to najmä v druhej polovici 20. storočia po kolektivizácii poľnohospodárstva. Vo všeobecnosti možno pozorovať postupný úbytok ornej pôdy a nárast percentuálneho zastúpenia zalesnených území.

Vplyv spôsobu využitia územia na odtok z povodia bol v práci simulovaný s použitím zrážkovo-odtokového modelu WetSpa s priestorovo rozčlenenými parametrami. V rámci práce sme sa zamerali najmä na skúmanie vplyvu využitia územia na tvorbu extrémneho odtoku, ktorý bol vyhodnotený pre povodňovú vlnu z júla 2001. Výsledky simulácie naznačujú, že veľkosť kulminačného prietoku a objemu povodňovej vlny závisia od percentuálneho zastúpenia poľnohospodárskej pôdy

a lesov z celkovej plochy povodia. Túto závislosť možno vysvetliť slabou retenčnou schopnosťou poľnohospodárskej pôdy, pričom táto jej vlastnosť napomáha tvorbe povrchového odtoku.

V rámci práce boli vytvorené tri scenáre využitia územia. Prvé dva scenáre predpokladali extrémne zmeny vo využití krajiny (SC1-lesy a SC2-poľn.). Tretí scenár (SC3-manaž.) bol vytvorený tak, aby zohľadňoval zásady správnych poľnohospodárskych postupov a manažmentu krajiny zameraných na zvýšenie jej retenčnej schopnosti a zníženie erózie pôdy. Výsledky simulácií preukázali, že výrazne najmenšie hodnoty návrhových prietokov boli dosiahnuté v prípade hypotetického extrémneho scenára SC1-lesy, v rámci ktorého bolo celé územie s výnimkou zastavaných území pokryté listnatým lesom. V prípade druhého extrémneho scenára, v rámci ktorého bola plocha poľnohospodárskeho územia rozšírená o plochu trávnatého porastu, boli naopak dosiahnuté najvyššie hodnoty návrhových prietokov. Porovnaním tretieho scenára SC3-manaž. so súčasným stavom využitia územia SUC LU bolo zaznamenané len malé až zanedbateľné zmenšenie hodnôt návrhových prietokov, a to najmä v prípade malých dôb opakovania (do 20 rokov). V prípade návrhových prietokov s dobou opakovania nad 25 rokov je tento rozdiel výraznejší. Avšak, vzhľadom na neistoty spojené s výberom vhodného štatistického rozdelenia pri zostrojení teoretickej čiary prekročenia prietokov a jej extrapolácie do oblastí s dobou opakovania väčšou ako je veľkosť pozorovaného radu maximálnych ročných prietokov, sú tieto hodnoty poznačené výraznou mierou neistoty, a tak nemožno tento rozdiel považovať za dostatočne spoľahlivý.

Dosiahnuté výsledky naznačujú, že z hľadiska schopnosti zmiernenia extrémnych prietokov, došlo v rámci analyzovaného povodia za posledných 250 rokov k výraznému zlepšeniu. Toto tvrdenie je však v rozpore s viacerými štúdiami, v rámci ktorých sa výrazne zvýšila intenzita bleskových povodní v hornej časti povodia, ako aj výskyt trvalých erózných výmoľov (v hornej časti povodia najväčšia hustota v rámci SR) (Stankoviansky, 2003). V skutočnosti však model nie je schopný zohľadniť vplyv rôznych krajinných opatrení alebo štruktúr, medzi ktoré možno zaradiť terasovanie, ktoré bolo bežné počas obdobia reprezentovaného I. VM, alebo mozaikovitú rozčlenenú políčku ornej pôdy, ktoré bránili rozsiahlej pôdnej erózii a spomaľovali tvorbu povrchového odtoku. Naproti tomu v súčasnosti je orná pôda sústredená do veľkých blokových lánov, ktoré umožňujú jednoduché nasadenie mechanizácie. Takéto usporiadanie krajiny však urýchljuje povrchový odtok, vedie k rozsiahlej pôdnej erózii (môže viesť až k vzniku bahenných povodní) a zhoršuje celkovú hydrologickú situáciu v povodí (častejšie záplavy a slabá retenčná schopnosť povodia zhoršujúca obdobia sucha). Jedným z možných spôsobov ako zlepšiť uvedenú situáciu je dodržiavať správne poľnohospodárske postupy (napr.: vrstevnicová orba, pásové pestovanie plodín) a spôsoby manažmentu krajiny (napr.: správne polohové umiestnenie pozemkov).

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0497 a OP Výskum a vývoj – projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004, financovaným zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- AKSR – Atlas krajiny Slovenskej Republiky (2002): Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR, 344 s.
- Behan, Š. (2016): Analýza zmeny využitia územia a jej vplyv na odtok z povodia (diplomová práca), Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava.
- Boltiziar, M., Olah, B., Petrovič, F. (2013): „Historické mapy – zdroj dát pri štúdiu krajiny a jej zmien“, Životné prostredie, 47(1), 8 – 12.
- Čengerová, K. (2009): Zmeny využívania krajiny v minulosti a ich dopad na rastlinné spoločenstvá (Metodický postup), Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 8 s.
- Cunnane, C. (1998): „Methods and merits of regional flood frequency analysis“, Journal of Hydrology, 100, s. 269 – 290.
- DVWK (1999): Wahl des Bemessungshochwassers, Regeln 101/1999, Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Feranec, J., Ořahel, J. (2001): Krajinná pokrývka Slovenska, VEDA, Bratislava, 124 s.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Kohnová, S., Kostka, Z. (2007): „Využitie zrážkovo-odtokových modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami pri odhade vplyvu využívania územia na odtokové pomery v povodí“, Životné prostredie, 41(4), 206 – 211.
- Horvát, O., Danihilík, R., Velčická, L., Szolgay, J. (2004): „Využitie hydrologického distribuovaného modelu WetSpa v povodí Hornádu“, In: Hydrologické modelovanie ako súčasť integrovaného manažmentu. SHMÚ, Bratislava, 41 – 56.
- Horvát, O., Hlavčová, K., Kohnová, S., Danko, M. (2009): „Application of the FRIER distributed model for estimating the impact of the land use changes on the water balance in selected basins in Slovakia“, In: Journal of Hydrology and Hydromechanics, 57(4), 213 – 225.
- Luo, P., Takara, K., Apip, He, B., Nover, D. (2013): „Palaeoflood simulation of the Kamo River basin using a grid-cell distributed rainfall run-off model“, Journal of Flood Risk Management, 7(2), 182 – 192.
- Maliariková, M. (2015): Analýza využitia územia z historických máp na povodí Myjavy (diplomová práca), Slovenská technická univerzita, Bratislava.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970): „River flow forecasting through conceptual models I. A discussion of principles“, J. Hydrology, 10(3), 282 – 290.
- Ray, D.K., Duckles, J.M., Pijanowski, B.C. (2010): „The Impact of Future Land Use Scenarios on Runoff Volumes in the Muskegon River Watershed“, Environmental Management, 46(3), 351 – 366.
- Stankoviansky, M. (2003): „Historical evolution of permanent gullies in the Myjava Hill Land, Slovakia“, Catena, 51, 223 – 239.
- Valent, P., Rončák, P., Maliariková, M., Behan, Š. (2016):

- „Utilization of Historical Maps in the Land Use Change Impact Studies: a Case Study from Myjava River basin“, *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24(4), 15 – 26.
- Velhartický, D. (2009): Návod pro vektorizaci map třetihovojenského mapování [bakalárska práca], Západo-česká univerzita v Plzni, Plzeň.
- Wang, Z., Batellan, O., De Smedt, F. (1996): „A Distributed Model For Water And Energy Transfer Between Soil, Plants And Atmosphere (Wetspa)“, *Phys. Chem. Earth*, 21, 189 – 193.
- Žarnovičan, H. (2008): „Lesné spoločenstvá východnej časti Myjavskej Pahorkatiny“, *Phytopedon*, 7(2), 230 – 239.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LAND USE AND MANAGEMENT ON THE GENERATION OF RUNOFF FROM THE MYJAVA RIVER BASIN

This study presents an assessment of the impact of land use changes in the Myjava River basin with an outlet at Šaštín-Stráže on the values of extreme flows. The information about the way the land was used in the past was obtained from three historical maps, which had to be manually vectorised. The historical maps used in this study comprised of I. military mapping (1764–1787), II. military mapping (1807–1869), and a military topographic mapping (1953–1957). Together with the current mapping of land use from 2010 the information about the way the land was used spanned a period of almost 250 years. The analysis of the land use change comprised of the comparison of 4 land use types which were identified in all three time horizons. The analysis showed that the biggest changes were observed in the percentage of forested and agricultural areas. The lowest percentages of forested areas were observed in the oldest period (1764–1787) during the kopanitse colonisation, when rapid deforestation took place in order to gain more land for agriculture. From the 19th century one could observe an effort to reforest some of the areas which were difficult to cultivate. Generally the analysis showed that there is an increasing trend in the percentage of forested areas and a decreasing trend in the percentage of agricultural land. The vectorised land use maps were used as inputs into the WetSpa distributed rainfall-runoff model, which was used to assess their impact on a simulation of a selected flood

event from July 2001. The results indicate that the peak flow and the corresponding flood volume are directly proportional to percentage of agricultural land and indirectly to the percentage of forests. In addition, two extreme and one real land use scenarios were created to assess the impact of land use changes on the values of maximum design discharges. They were estimated for selected return periods using a statistical approach, in which the selected statistical distributions were fitted on a series of annual maximum mean daily discharges. The results showed that the lowest values of the design discharges were obtained under the SC1-lesy extreme scenario, with the whole area, except of the urbanized areas, being replaced by deciduous forests. On the other hand the highest design discharges were obtained under the second extreme scenario SC2-pol'n., in which the natural grasslands are replaced by agricultural land. The last scenario followed the good agricultural and land management practices. Even though in this case a significant reduction in the values of design discharges was anticipated, when compared to the values estimated for the current state of land use, only small or negligible differences were observed especially in the case of the smaller return periods. The higher differences in the case of return periods larger than 25 years could also be attributed to the uncertainties linked to the selection of statistical distributions used in the construction of the theoretical flood frequency curve.

Ing. Peter Valent, PhD., MSc.
Mgr. Peter Rončák, PhD.
Ing. Marcela Maliariková
prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.
prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava
E-mail: peter_valent@stuba.sk
peter.roncak@stuba.sk
marcela.maliarikova@stuba.sk
silvia.kohnova@stuba.sk
jan.szolgay@stuba.sk
kamila.hlavcova@stuba.sk