ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 152 - 160

ANALÝZA ZMENY SPÔSOBU VYUŽITIA ÚZEMIA Z HISTORICKÝCH MÁP NA POVODÍ MYJAVY

Peter Valent, Marcela Maliariková, Peter Rončák, Kamila Hlavčová, Beata Randusová

Spôsob využitia územia významným spôsobom ovplyvňuje hydrologické procesy vplývajúce napr. na tvorbu povodňového odtoku alebo eróziu pôdy. Skúmanie jeho vplyvu najmä na zmeny odtokových procesov v povodiach patrí preto medzi významné vodohospodárske úlohy. Táto práca sa venuje analýze zmeny využitia územia v povodí rieky Myjava po Jablonicu pre tri časové horizonty: 1764-1787 (I. vojenské mapovanie), 1952-1957 (topografické mapovanie v mierke 1:25 000) a 2010 (digitálna mapa využitia územia), pričom v prípade prvých dvoch horizontov boli najskôr mapové podklady vektorizované v prostredí ArcGIS. Pre posúdenie vplyvu analyzovaných zmien využitia územia na odtok z povodia bol použitý zrážkovo-odtokový model s rozčlenenými parametrami – WetSpa. Výsledky práce ukázali, že skúmané povodie bolo najviac zasiahnuté negatívnymi vplyvmi kopaničiarskej kolonizácie v prvom časovom horizonte, kedy došlo k najväčšiemu odlesňovaniu územia. Modelovanie odtoku z povodia ukázalo, že najväčší a najmenší dlhodobý priemerný ročný odtok bol simulovaný v rámci prvého, resp. posledného časového horizontu s najmenším, resp. najväčším podielom zalesneného územia.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: vektorizácia historických máp, analýza využitia územia, zrážkovo-odtokové modelovanie, model WetSpa

ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN THE MYJAVA RIVER BASIN UTILIZING HISTORICAL MAPS. The way a land is used has a significant impact on the hydrological processes determining the generation of flood runoff or soil erosion. The evaluation of the impacts of land use changes on these processes is one of the most active research areas in hydrology and water management. This work deals with the analysis of a land use changes in the Myjava River catchment with an outlet in Jablonica in three time horizons: 1764-1787 (I. military mapping), 1952-1957 (topographic mapping in the 1:25 000 scale) and 2010 (current land use map). In the case of the first two horizons the information about the concurrent way of land use was extracted from historical maps which were vectorised in ArcGIS environment. In order to evaluate the impact of these changes on the catchment runoff a distributed rainfall-runoff model WetSpa was used. The results showed that the most negative impacts were caused by a kopanitse colonisation in the first time horizon, when a massive deforestation took place. The simulation of catchment runoff showed that the highest and the lowest mean annual runoffs were simulated in the first and last time intervals respectively with the smallest and largest percentages of forested areas.

KEY WORDS: vectorization of historical maps, land use change analysis, rainfall-runoff modelling, model WetSpa

Úvod

Ráz krajiny je od nepamäti formovaný rôznymi činiteľmi, ktoré môžu byť buď prírodného alebo antropogénneho charakteru. Medzi najvýraznejšie antropogénne faktory, ktoré vplývajú na zmenu krajiny a určujú jej ráz patria najmä poľnohospodárstvo, lesné hospodárstvo, výstavba sídiel a dopravnej infraštruktúry, ale aj vodné hospodárstvo, ktoré významnou mierou mení charakter krajiny najmä v blízkosti vodných plôch (Belčáková, 2013). 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 odtokotvorné procesy, skúmanie vplyvu zmeny využitia územia na odtok z povodia patrí medzi aktuálne témy súčasnosti (pozri napr. Ray a kol., 2010; Luo a kol., 2013; He a kol., 2013; 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. Štúdiom historických mapových podkladov pre potreby analýzy krajiny sa venovalo viacero autorov, z ktorých možno spomenúť napr. práce Cajthamla a Krejčího (2008) a Kánského (2007), ktorí historické mapové diela manuálne vektorizovali, alebo prácu Bailyho (2007), ktorý pri analýze máp využitia územia využil metódy spracovania obrazu. Analýzou historických máp z rôznych časových období je možné dokumentovať vývoj krajinných alebo antropogénnych prvkov na danom území, pričom tieto informácie môžu slúžiť ako vstup pre zrážkovo-odtokové modelovanie, pomocou ktorého je možné odhadnúť vplyv týchto zmien na odtok z povodia.

V predkladanej práci je prezentovaná analýza využitia územia povodia rieky Myjava so záverečným profilom určeným vodomernou stanicou Jablonica (1-4-13-03-025-01). Vybrané povodie ležiace v oblasti Myjavskej pahorkatiny je najmä vďaka pretvoreniu pôvodnej lesnej krajiny na krajinu poľnohospodársku charakteristické zrýchleným odtokom a výraznou vodnou eróziou spôsobujúcou odnos veľkého množstva erodovaného materiálu. Vývoj zmeny využitia územia bol dokumentovaný na dvoch historických mapách (I. vojenskom mapovaní z rokov 1764-1787 a vojenskom topografickom mapovaní z rokov 1952-1957) a bol porovnaný so súčasnou mapou využitia územia z roku 2010. Z historických mapových podkladov boli vytvorené mapy využitia územia, ktoré boli vzájomne porovnané a slúžili ako vstup pre zrážkovo-odtokové modelovanie pomocou modelu WetSpa, ktorým bol kvantifikovaný vplyv zmeny využitia územia na odtokové procesy povodia.

Mapovanie využitia územia v SR

Za začiatky mapovania využitia územia vo svete sa považujú 30. roky minulého storočia, keď tým vedený profesorom L. Dudley Stampom z Veľkej Británie ukončil prvé mapovanie využitia územia Veľkej Británie v mierke (1:63 000) (Baily, 2007). Za prvé snahy o zdokumentovanie spôsobu využitia územia na Slovensku možno označiť pozemkový kataster pozostávajúci z písomného a mapového operátu (katastrálne mapy), pričom písomný operát dával okrem iného informácie o druhu pozemku a spôsobe jeho využitia a mapový operát obsahoval hranice jednotlivých pozemkov. Nevýhodou takéhoto mapovania pre potreby analýzy zmeny využitia územia je fakt, že hranice pozemkov zakreslených v katastrálnej mape nezohľadňujú typ krajinného prvku, ale sú vytýčené na základe vlastníckeho práva k danej parcele. Jednotlivé parcely pritom môžu obsahovať niekoľko krajinných prvkov (hranica dvoch krajinných prvkov môže napr. prechádzať stredom parcely), alebo naopak jeden krajinný prvok môže byť rozdrobený na veľké množstvo malých parciel, pričom informácie o využití parcely je nutné vyhľadávať manuálne v pozemkových hárkoch. Ďalším cenným zdrojom informácií o spôsobe využitia územia sú topografické mapy, ktoré boli na našom území vytvárané od druhej polovice 18. storočia pre potreby armády. Na území Slovenska sa v minulosti realizovalo niekoľko štátnych mapovaní, ktoré sú podrobnejšie popísané v prácach Maliarikovej (2015), Labudu (2005) alebo Zemana (2012). V predkladanej štúdii boli analyzované nasledovné mapové diela:

I. vojenské mapovanie (1764-1787)

I. vojenské mapovanie (I. VM) nazývané aj tereziánsko-jozefínske možno považovať za vôbec prvé systematické mapovanie na našom území. Bolo realizované medzi rokmi 1764 až 1787 na podnet Márie Terézie kvôli akútnemu nedostatku topografických podkladov pri bojových operáciách rakúsko-uhorskej armády (Zeman, 2012). Mapovanie je charakteristické tým, že nevznikalo na pevných geodetických základoch, reliéf a polohopis sa zakresľovali hrubým odhadom od oka z konského sedla, pričom vzdialenosti sa merali najmä podľa počtu otáčok kolesa konského povozu. Mapové dielo sa nachádza na 210 mapových listoch, ktorých kvalita je značne ovplyvnená polohovými deformáciami a veľmi hrubou zemepisnou orientáciou. Ukážka mapy I. vojenského mapovania z oblasti Myjavy je znázornená na Obr. 1a.

Topografické mapy v mierke 1:25 000 (1952-1957)

Topografické mapy v mierke 1:25 000 (TM25) , ktoré boli zhotovené medzi rokmi 1952 až 1957 možno považovať za prvé mapovanie na našom území po II. Svetovej vojne. Mapy TM25 boli zostrojené v súradnom systéme S-52 a v Baltskom výškovom systéme. Základnou metódou pri mapovaní bola univerzálna fotogrametrická metóda, ktorá bola doplnená inými metódami. Takto vzniknuté mapové dielo je považované za prvé moderné mapové dielo v našich dejinách, ktoré bolo čo do presnosti a obsahu na svetovej úrovni (Zeman, 2012).

Mapové dielo TM25 našlo široké uplatnenie vo všetkých oblastiach národného hospodárstva, pričom jeho posledné 4. vydanie bolo vydané v 90. rokoch 20. storočia. V predkladanej práci bola použitá prvá verzia mapového diela, ktorého ukážka je znázornená na Obr. 1b.



Obr. 1. Porovnanie výrezov máp a) I. vojenského mapovania, b) topografického mapovania v mierke 1:25 000 a c) súčasnej monotematickej mapy využitia územia v lokalite Myjava.
Fig. 1. Comparison of the map sections from a) I. military mapping, b) topographic mapping in the 1:25 000 scale and c) current land use map in the Myjava catchment.

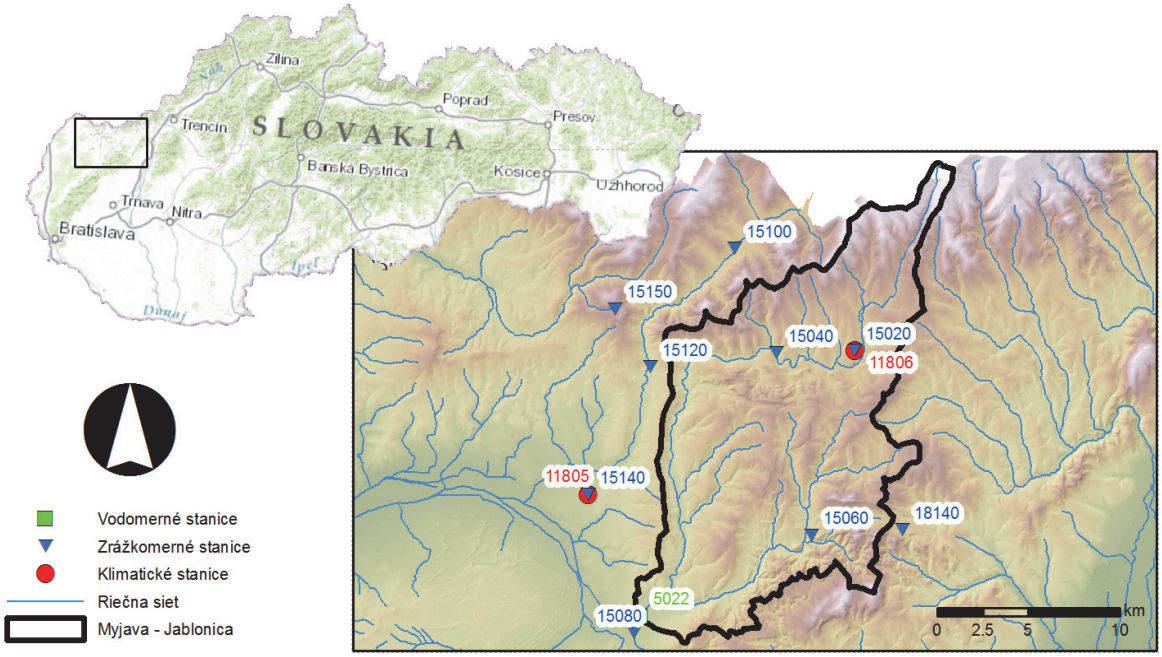
Súčasné mapovanie využitia územia (2010)

Pre potreby porovnania historického vývoja využitia územia so súčasným stavom bola v práci využitá aj mapa súčasného využitia územia (SUC), ktorá bola vytvorená zo snímok CORINE land cover 2010 doplnených údajmi z leteckých snímok ZB GIS a údajmi Národného lesníckeho centra vo Zvolene (mapa bola zhotovená a expertne upravená firmou ESPRIT). Na rozdiel od predchádzajúcich historických máp v tomto prípade nejde o komplexné mapové dielo, keď použitá mapa využitia je monotematická, a teda neobsahuje ani polohopis a ani výškopis. Jednotlivé prvky využitia územia sú rozdelené do sedemnástich kategórií, ktoré sú totožné s mapovaním CORINE land cover. Ukážka mapy súčasného využitia územia je znázornená na Obr. 1c.

Opis záujmového územia a vstupných údajov

Záujmové územie, ktoré je predmetom analýzy vplyvu zmeny využitia krajiny na odtok z povodia, tvorí povodie rieky Myjava so záverečným profilom v stanici Jablonica (pozri Obr. 2). Povodie sa nachádza na západnom Slovensku v pomerne hornatej oblasti Myjavskej pahorkatiny. Povodie je orientované na juhozápad a s rozlohou 235 km^2 ho možno zaradiť medzi malé až stredne veľké povodia. Priemerná nadmorská výška povodia je 361 m n.m. s najvyšším bodom vo výške 818 m n.m. (Čupec) a najnižším 206 m n.m. (Jablonica). Záujmové územie patrí do mierne teplej oblasti s priemernou ročnou teplotou okolo 10°C a s priemerným ročným úhrnom zrážok v rozmedzí medzi 550 až 600 mm, pričom v severných častiach povodia sa môže pohybovať medzi 900 až 1000 mm. Prirodzenú vegetáciu tvoria najmä lesné spoločenstvá, ktoré sú v prevažnej časti zastúpené listnatými lesmi a len v najvyšších častiach povodia aj zmiešanými a ihličnatými lesmi (Žarnovičan, 2008).

Súčasný charakter záujmového územia je do značnej miery ovplyvnený intenzívnym osídlením, ktorého prvá etapa siaha do druhej polovice 13. storočia. Osídlenie sprevádzalo odlesňovanie, zakladanie polí, lúk a pasienkov a postupné pretváranie prírodnej krajiny na krajinu kultúrnu. Druhá etapa osídlenia je spojená s kopaničiarskou kolonizáciou (17. až 18. storočie), počas ktorej došlo k osídleniu aj vyššie položených a odľahlých častí územia. Aj toto obdobie je spojené s intenzívnym odlesňovaním aj ťažko dostupných miest, keď na konci 18. storočia dosiahli plochy lesov historicky najnižšie hodnoty. Počas tohto obdobia nadobudla krajina špecifický ráz s veľkým množstvom úzkych mozaikových políčok, kde sa pravidelne striedala poľnohospodárska pôda so zatrávnenými plochami a úzkymi spoločenstvami lesov (Heinrichová, 2012). V 19. storočí došlo k snahe o znovuzalesnenie nevyužívaných plôch. Najvýznamnejším zásahom do využívania krajiny však bola kolektivizácia poľnohospodárstva a s ňou spojené sceľovanie pozemkov a likvidácia terasových polí, ku ktorej došlo v priebehu päťdesiatych rokov minulého storočia. Napriek tomu, že po kolektivizácii došlo k ďalšiemu zalesňovaniu pozemkov, vplyvom vytvorenia veľkých družstevných lánov na úkor mozaiky políčok vznikajú počas intenzívnych dažďov tzv. bleskové povodne sprevádzané rozsiahlou eróznou činnosťou (Stankoviansky, 1997).
Pre potreby zrážkovo-odtokového modelovania boli ako vstupné údaje použité okrem hydrometeorologických a klimatických údajov za obdobie 1997-2010 aj digitalne priestorové údaje ako digitálny model reliéfu, mapa pôdnych druhov a mapa využitia územia (súčasná mapa využitia územia z roku 2010). Z hydrometeorologických údajov boli použité denné zrážkové úhrny vo vybraných staniciach (pozri Obr. 2) a priemerné denné prietoky vo vodomernej stanici Jablonica. Z klimatických údajov boli použité priemerné denné teploty vzduchu vo vybraných staniciach (pozri Obr. 2).



Obr. 2. Poloha záujmového územia v rámci Slovenska a poloha zrážkomerných, klimatických a vodomernej stanice.
Fig. 2. The location of the pilot area in Slovakia and the location of precipitation, temperature and flow measurement stations.

Metódy

Vektorizácia historických máp

Historické mapy zobrazujúce záujmové územie boli dostupné vo forme georeferencovaných rastrových súborov, s ktorými však nebolo možné vykonávať analýzy zmeny využitia územia. Keďže takéto mapy nemajú explicitne určené typy krajinných prvkov (ich hranice sú nejasné resp. niektoré je možné určiť len nepriamo), bolo potrebné ich prevedenie do vektorovej formy. Najjednoduchším a najspoľahlivejším spôsobom vektorizácie historických máp je manuálna vektorizácia, pri ktorej sú identifikované hranice a typ vybraných krajinných prvkov (Cajthaml a Krejčí, 2008). Keďže podrobnosť jednotlivých máp sa od seba líši, pre každé mapové dielo bol identifikovaný iný počet krajinných prvkov. Viac o vektorizácii historických máp možno nájsť v prácach Velhartický (2009) alebo Maliariková (2015).

Analýza spôsobu využitia územia

Analýza zmeny využitia územia bola vykonaná len na vybraných krajinných prvkoch, ktoré bolo možné identifikovať vo všetkých mapových dielach. Ide o ornú pôdu, trávnaté porasty, lesy a urbanizované plochy. Analýza spočívala v percentuálnom vyjadrení vybraných krajinných prvkov v jednotlivých mapových dielach a ich vzájomnom porovnaní s cieľom identifikovať ich prípadný úbytok resp. prírastok.

Modelovanie odtoku a zrážkovo-odtokový model WetSpa

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. 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 pôdnych druhov a 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 použilo ako kritérium zhody Nash-Sutcliffov koeficient (Nash a Sutcliffe, 1970). Viac informácií o použití modelu WetSpa možno nájsť v prácach Horvát a kol. (2004), Rončák a kol. (2014), Liu a Smedt (2004).

Výsledky a diskusia

Analýza využitia územia

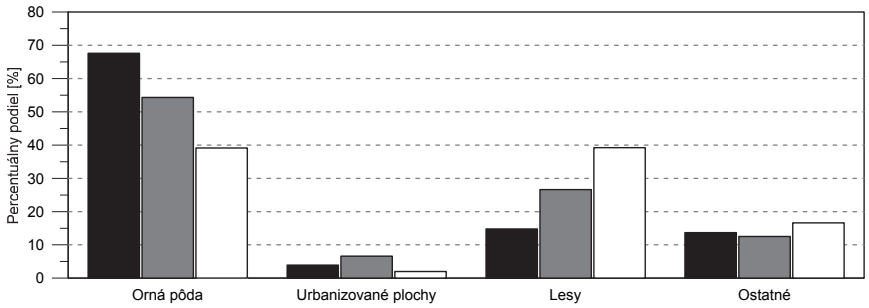
Manuálnou vektorizáciou historických máp bolo identifikovaných niekoľko kategórií krajinných prvkov. Počet identifikovaných krajinných prvkov sa pre jednotlivé mapové diela líšil, a to z toho dôvodu, že kvalita spracovania a podrobnosť týchto diel boli na rôznej úrovni. V prípade mapy I. VM bolo možné identifikovať iba 4 krajinné prvky (pozri Tabuľka 1). Naproti tomu v prípade podrobnejšej mapy TM25 bolo možné identifikovať už 7 prvkov a v prípade súčasnej mapy využitia územia dokonca až 9 prvkov (pozri Tabuľka 1). Percentuálne podiely jednotlivých typov krajinných prvkov, ktoré sú uvedené v Tabuľke 1, sú vyjadrené vo vzťahu k celkovej ploche záujmového územia. To znamená, že takto vypočítané percentuálne podiely nie je možné medzi sebou priamo porovnať, keďže napr. v prípade mapy I. VM nebolo možné rozlíšiť medzi jednotlivými typmi lesov. Navyše, prechodné lesokroviny, ktoré v ostatných mapových dielach zaberajú nezanedbateľnú časť územia (9,3% v prípade TM25 a 4.4% v prípade SUC), v mapách I. VM nebolo vôbec možné identifikovať a sú pravdepodobne súčasťou inej kategórie. Medzi prvky, ktoré bolo možné identifikovať s najväčšou spoľahlivosťou v prípade všetkých mapových diel patria urbanizované plochy a lesy. V prípade máp I. VM bolo možné ešte pomerne dobre identifikovať územie zodpovedajúce krajinnému prvku nízka tráva. Toto územie sa spravidla vyskytovalo v blízkosti lesov resp. zaberalo niektoré vyššie položené časti povodia, ktoré neboli využívané ako poľnohospodárska pôda. V prípade ostatných mapových diel sa však v tesnej blízkosti lesov vyskytovali prevažne prechodné lesokroviny, ktoré postupne prechádzali do nízkej trávy a následne do ornej pôdy. Z toho vyplýva, že v prípade máp I. VM krajinný prvok nízka tráva s najväčšou pravdepodobnosťou zahŕňa aj prechodné lesokroviny, čo potvrdzuje aj Tabuľka 1, kde súčet percentuálnych podielov týchto krajinných prvkov v mapových dielach TM25 a SUC je veľmi blízky percentuálnemu zastúpeniu nízkej trávy v prípade I. VM.

Porovnanie zmeny využitia územia v troch časových horizontoch bolo vykonané len pre 4 kategórie krajinných prvkov, ktoré boli reprezentované 1) ornou pôdou, 2) urbanizovanými plochami, 3) lesmi a 4) ostatnými plochami, pričom kategória lesy zahŕňala všetky typy lesných spoločenstiev. Kategóriu ostatné tvorili nízka tráva, prechodné lesokroviny a v prípade súčasného stavu využitia územia aj holá pôda a vodné plochy, ktoré však zaberajú zanedbateľnú časť povodia (len 0.1%). Výsledky porovnania sú zobrazené na Obr. 3, z ktorého vyplýva, že najväčšie zmeny nastali na plochách ornej pôdy a lesov.

Tabuľka 1. Percentuálne vyjadrenie typov identifikovaných krajinných prvkov v jednotlivých mapových dielach. Percentuálny podiel je vyjadrený vo vzťahu k celkovej ploche záujmového územia

Table 1. Percentage of identified land use types in individual maps. The percentage is expressed as a percentage from the total catchment area

Krajinný prvok	I. VM	TM25	SUC
Orná pôda	67.6%	54.3%	39.1%
Urbanizované plochy	3.9%	6.6%	2.0%
Ihličnaté lesy		6.3%	8.4%
Listnaté lesy	14.8%	13.9%	26.7%
Zmiešané lesy		6.4%	4.1%
Nízka tráva	13.7%	3.2%	12.1%
Prechodné lesokroviny	-	9.3%	4.4%
Holá pôda	-	-	0.0%
Vodné plochy	-	-	0.1%



Obr. 3. Porovnanie výskytu krajinných prvkov v jednotlivých časových obdobiach reprezentovaných rôznymi mapovými dielami.

Fig. 3. Comparison of the proportion of land use types in the particular time intervals represented by various historical maps.

Výsledky analýzy korešpondujú s popisom územia v časti 2, keď možno pozorovať postupný pokles plochy poľnohospodárskej pôdy a naopak nárast plochy lesov, ktorý je spôsobený postupným zalesňovaním ťažko obrábateľnej poľnohospodárskej pôdy (Stankoviansky, 1997). V prípade ornej pôdy ide o postupný pokles výmery z takmer 70% na skoro 40% plochy povodia, pričom v prípade lesov ide o postupný nárast z 14% na takmer 40%. Porovnaním urbanizovaných plôch možno pozorovať zvláštny jav, keď jej percentuálny podiel najskôr narastie z 3.9% na 6.6% a potom klesne len na 2% z Porovnaním urbanizovaných plôch možno plochy povodia. Tento paradox možno vysvetliť tak, že v prípade máp I. VM a TM25 nebolo možné dostatočne presne odlíšiť urbanizované plochy od zelených plôch v intraviláne obcí, a tak urbanizované územie bolo určené vymedzené vonkajšou hranicou obce (v prípade mapy SUC bolo možné rozlíšiť medzi zastavanými a ostatnými plochami v intraviláne obcí).

Modelovanie odtoku z povodia

Vplyv zmeny využitia územia na odtok z povodia, reprezentovaný priemernými dennými prietokmi v záverečnom profile povodia, bol analyzovaný s použitím zrážkovo-odtokového modelovania pomocou 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 (parametre intercepcie, hĺbka koreňovej zóny, index listovej plochy, parametre drsnosti). 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. Kvalita simulácií bola posúdená porovnaním zhody medzi meranými a simulovanými priemernými dennými hodnotami prietokov v profile Jablonica pomocou hodnoty Nash-Sutcliffovho koeficienta. 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 a TM25). Navyše, odtok z povodia bol simulovaný aj pre hypotetický scenár, predstavujúci využitie územia so zachovaním súčasného stavu urbanizovaných území a ostatnými plochami na povodí pokrytými listnatými lesmi, ktoré sú najbližšie potenciálnej prirodzenej vegetácii (Maglocký, 2002).

Výsledky simulácií sú zhrnuté v Tabuľke 2, zobrazujúcej okrem priemerných ročných hodnôt odtoku (v mm) aj priemerné ročné hodnoty niektorých ďalších simulovaných zložiek hydrologickej bilancie. Z výsledkov vyplýva, že najväčší priemerný ročný odtok z povodia by nastal pri spôsobe využitia územia z obdobia I. VM, kedy boli simulované aj najnižšie hodnoty výparu. V prípade využitia územia z obdobia TM25 možno pozorovať len veľmi malé zmeny v hydrologickom režime povodia v porovnaní so súčasným využitím územia, keď ako odtok, tak aj výpar z povodia ostávajú viac či menej konštantné. Najväčší rozdiel bol zaznamenaný v prípade hypotetického scenára (iba lesy a sídla) s najnižšími hodnotami priemerného celkového odtoku a výparu (pozri Tabuľka 2).

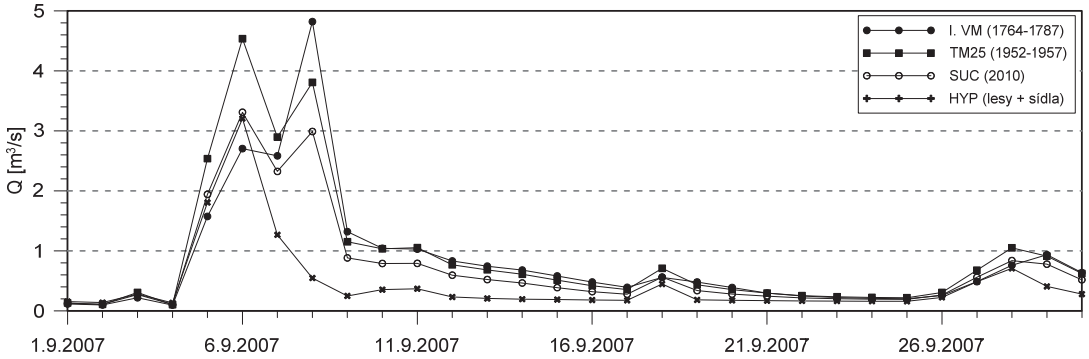
Rozdiely v prvkoch hydrologickej bilancie medzi jednotlivými spôsobmi využitia územia sú spôsobené najmä rozdielnou plochou lesov, pričom možno konštatovať, že odtok z povodia je priamo úmerný výparu a retenčnej schopnosti povodia.

Rozdiely možno pozorovať aj v simulácii extrémnych povodňových udalostí, ktoré sú demonštrované na Obr. 4 zobrazujúcom priebeh simulovanej povodňovej vlny zo septembra 2007 v povodí s rôznymi spôsobmi využitia územia. Obr. 4 ilustruje, že hydrogram simulovaného prietoku v záverečnom profile povodia pre hypotetický scenár (HYP) využitia územia dosahuje počas celého priebehu povodne najnižšie hodnoty. Naopak najvyššie hodnoty boli zaznamenané v prípade variantu I. VM s malými plochami lesa a veľkými plochami poľnohospodárskej pôdy (pozri Tabuľka 2).

Tabuľka 2. Zložky hydrologickej bilancie získané simuláciou odtoku z povodia počas rôznych scenárov spôsobu využitia územia

Table 2. Components of the hydrological balance obtained from the simulation of the catchment runoff under various land use scenarios

Obdobie	Výpar [mm]	Povrchový odtok [mm]	Podporvrchový odtok [mm]	Podzemný odtok [mm]	Celkový odtok [mm]	Rozdiel	
						Celkový odtok [mm]	Výpar [mm]
SUC	548,0	14,3	46,4	111,9	172,4	-	-
1.VM	544,8	17,6	46,5	115,6	179,7	+ 8	- 3
TM25	545,7	12,2	47,6	113,6	173,4	- 1	- 2
HYP	560,0	12,0	43,6	104,1	159,7	- 12	+ 12



Obr. 4. Porovnanie simulovaných denných prietokov počas povodňovej situácie zo septembra 2007 počas rôznych scenárov spôsobu využitia územia.
Fig. 4. Comparison of simulated daily flows during a flood situation from September 2007 using various land use scenarios.

Záver

Predložený článok sa venuje posúdeniu vplyvu zmeny využitia územia v rôznych historických obdobiach na odtok z povodia rieky Myjava so záverečným profilom v Jablonici. Údaje o spôsobe využitia územia boli získané z historických mapových podkladov, ktoré boli vektorizované v prostredí GIS. Analýza bola vykonaná na dvoch historických mapách: i) I. vojenské mapovanie (1764-1787) a ii) vojenské topografické mapovanie (1952-1957), ktoré boli porovnané so súčasným spôsobom využitia územia (2010). V analýze zmeny využitia územia boli porovnané 4 kategórie krajinných prvkov, ktoré bolo možné identifikovať vo všetkých 3 variantoch. Z analýzy vyplýva, že najväčšie zmeny možno pozorovať v ploche lesných porastov a poľnohospodárskej pôdy, pričom najmenšia rozloha lesov je v najstaršom období (I. VM) počas kopaničiarskej kolonizácie, kedy došlo k rapídnemu 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 zalesnených území.

V druhej časti práce bol vyhodnotený vplyv zmeny využitia územia na odtok z povodia, vyjadreným priemernou ročnou výškou odtoku v záverečnom profile povodia. Výsledky simulácií ukázali, že najväčší priemerný ročný odtok bol simulovaný v prípade variantu I. VM s najnižšou plochou lesov a najnižší v prípade hypotetického scenára spôsobu využitia územia tvoreného len prirodzenými lesmi so zachovaním existujúceho urbanizovaného územia. Analýza ďalej ukázala, že spôsob využitia územia môže mať výrazný vplyv na tvorbu extrémneho odtoku z povodia. Pri simulácii extrémnej povodňovej situácie zo septembra 2007 boli najvyššie prietoky simulované v prípade variantu I. VM a najnižšie opäť v prípade hypotetického scenára. To môže byť vysvetlené veľkým podielom plochy poľnohospodárskej pôdy v prípade variantu I. VM, ktorá má slabú retenčnú schopnosť a napomáha tvorbe povrchového odtoku, ktorý vzniká v prípade intenzívnych zrážkových udalostí.

Dosiahnuté výsledky naznačujú, že súčasný spôsob využitia krajiny sa z hľadiska schopnosti zmiernenia najmä extrémnych prietokov javí spomedzi analyzovaných scenárov (s výnimkou hypotetického scenára s prirodzenou vegetáciou) ako najvhodnejší. 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 mozaikovito rozčlenené políčka 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 urýchľuje povrchový odtok, vedie k rozsiahlej pôdnej erózii (môže ústiť až do bahenných povodní) a zhoršuje celkovú hydrologickú situáciu v povodí (častejšie záplavy a slabá retenčná schopnosť povodia zhoršujúca obdobia sucha).

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV- 0303-11, Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR v rámci projektu č. VEGA 1/0710/15 a Európskou komisiou v rámci projektu 7RP RECARE, kontrakt č. 603498.

Literatúra

Baily, B. (2007): „The extraction of digital vector data from historic land use maps of Great Britain using image

processing techniques“, e-Perimetron, 2(4), s. 209-223.
Belčáková, I. (2013): Ochrana, tvorba a manažment krajiny, Bratislava, Trio Publishing, s.r.o.
Cajthaml, J., Krejčí, J. (2008): „Využití starých map pro výzkum krajiny“. In GIS Ostrava 2008, Ostrava 27.-30.1.2008, TANGER spol. s r.o., CD ROM.
He, Y., Lin, K., Chen, X. (2013): „Effect of Land Use and Climate Change on Runoff in the Dongjiang Basin of South China“, Mathematical Problems in Engineering, 2013, 14 s.
Heinrichová, M. (2012): Spoločenský prejav a hodnoty historickej krajiny, Bratislava, STU, 152 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), s. 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, s. 41-56.
Kánský, L. (2007): Sledování změn krajiny pomocí starých map v prostředí GIS [diplomová práca], České vysoké učení technické v Praze, Praha.
Labuda, M. (2005): „Identifikácia krajinných prvkov významných pre ekologickú stabilitu krajiny s využitím historických mapových diel“, In: Geografické aspekty středoevropského prostoru, Brno: Masarykova univerzita v Brne, s. 555-563.
Liu, Y.B., De Smedt, F. (2004): WetSpa Extension, A GIS-based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management (Documentation and User manual), Vrije Universiteit Brussel, Brusel, Belgicko, 126 s.
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), s. 182-192.
Maglocký, Š. (2002): „Potenciálna prirodzená vegetácia“ (M 1:500 000), In: Atlas krajiny Slovenskej Republiky, Bratislava, s. 114-115.
Maliariková, M. (2015): Analýza využitia územia z historických máp na povodí Myjavy [diplomová práca], Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava.
Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. (1970): „River flow forecasting through conceptual models 1. A discussion of principles“, J. Hydrology, 10(3), s. 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), s. 351-366.
Rončák, P., Hlavčová, K., Štefunková, Z. (2014): „Posúdenie prenositeľnosti parametrov v distribuovanom zrážkovo-odtokovom modeli“, Acta Hydrologica Slovaca, 15(1), s. 196-193.
Stankoviansky, M. (1997): „Antropogénne zmeny krajiny myjavskej kopaničiarskej oblasti“, Životné prostredie, 31(2), 6 s.
Velhartický, D. (2009): Návod pro vektorizaci map třetího vojenského mapování [bakalárska práca], Západočeská 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, s. 189-193.
Zeman, M. (2015): „Historické mapové diela na geoportal.sazp.sk“, Enviromagazín, 5, s. 20-21.
Žarnovičan, H. (2008): „Lesné spoločenstvá východnej časti Myjavskej Pahorkatiny“, Phytopedon, 7(2), 230-239.

ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN THE MYJAVA RIVER BASIN UTILIZING HISTORICAL MAPS

The main objective of the study presented in this paper was to analyse the impact of land use change on the runoff from the Myjava catchment with an outlet in Jablonica station. The information about the evolution of land use was obtained from two historical maps created in 1764-1787 and 1952-1957 and from a current map of land use created in 2010. In order to perform the analysis the two historical maps had to be vectorised in an ArcGIS environment. 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 second part of the work was dedicated to the assessment of the impacts of these changes on the runoff from the catchment. The simulations using a distributed rainfall-runoff model showed that the highest mean annual runoff was simulated from a catchment with the 1764-1787 land use with the lowest percentage of forested areas. On the other hand the lowest mean annual runoff was generated by the hypothetical land use scenario with urbanised areas from 2010 and all other areas considered as forested land. The analysis also showed that the way land use can have a strong impact on the creation of extreme runoff which was demonstrated on the flood event from September 2007.
The results showed that the highest flood would occur

under the 1764-1787 land use and the lowest under the 2010 land use conditions (not taking into account the hypothetical land use scenario which generated the lowest flood wave). It is necessary to remark that the method presented in this study has a weakness, when the rainfall-runoff model is not able to take into account various management practices or landscape structures such as terracing or concentration of the agricultural land into small mosaic-like plots which was the case of the 1764-1787 horizon.

Ing. Peter Valent, PhD., MSc.
Ing. Marcela Maliariková
Mgr. Peter Rončák
prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
Ing. Beata Randusová, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava
E-mail: peter_valent@stuba.sk
marcela.maliarikova@stuba.sk
peter.roncak@stuba.sk
kamila.hlavcova@stuba.sk
beata.karabova@stuba.sk