

VYUŽITIE GIS APLIKÁCIÍ A HYDRODYNAMICKÉHO MODELOVANIA PRI TVORBE POVODŇOVÝCH MÁP

Róbert FENCÍK¹, Ladislav DANEK¹, Jana DANEKOVÁ²

¹ Katedra mapovania a pozemkových úprav, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68, Bratislava, Slovenská republika
ladislav.danek@stuba.sk, robert.fencik@stuba.sk

² Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta, STU v Bratislave, Radlinského 11, 813 68, Bratislava, Slovenská republika
jana.danekova@stuba.sk

Abstrakt

Povodne sú hydrologický jav, ktorý nepozná štátne hranice. Mapovanie povodňového rizika je súčasťou manažmentu povodňových rizík a jedným z prvkov protipovodňovej ochrany. Smernica 2007/60/ES o hodnotení a manažmente povodňových rizík definuje princípy tvorby povodňových máp a určuje, aby členské štáty Európskej únie (EÚ) zabezpečili tvorbu máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika do roku 2013. Smernica 2007/60/ES bola transponovaná do legislatívy Slovenskej republiky (SR) Zákonom č. 7/2010 o ochrane pred povodňami. Na tvorbu týchto máp sa využívajú geografické informačné systémy (GIS) a programové aplikácie využívajúce hydrodynamické modelovanie (napr. HEC-RAS 3.1.1 (1D), CCHE (2D), Hydro_AS (2D), MIKE 21 2D). Na prípravu máp sú potrebné kvalitné podkladové údaje, akými sú digitálny model reliéfu (DMR), mapa využitia krajiny, mapa hydrologických skupín pôd, ostatné hydrologické údaje, hydrotechnické podklady, topografické údaje, letecké snímky a pod. Dôležitou súčasťou tvorby povodňových máp je ich kartografická vizualizácia v analógovej a digitálnej forme. V rámci ich tvorby je potrebné definovať katalóg objektov povodňových máp a pravidiel, ako budú objekty vizualizované (atribúty, farebné vyjadrenie ...). Príspevok sa zaoberá analýzou hydrodynamických a zrážkovo-odtokových modelov, analýzou obsahu povodňových máp a možnosťami použitia vizualizačných pravidiel dátových špecifikácií INSPIRE v rámci tvorby či následného publikovania povodňových máp.

Kľúčové slová: GIS, hydrodynamické modely, zrážkovo-odtokové modely, povodňové mapy.

Abstract

Floods are hydrological phenomenon that knows no national boundaries. Flood risk mapping is part of flood risk management and one of the elements of flood protection. Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks defines the formation principles of flood maps and determines that the Member States of the European Union (EU) have to ensure produce maps of flood hazard and risk in 2013. Directive 2007/60/EC was transposed into the legislation of the Slovak Republic (SR) with Law no. 7 / 2010 on flood protection. To produce these maps we use geographic information systems (GIS) and software applications using hydrodynamic (e.g. HEC-RAS 3.1.1 (1D), CCHE (2D), Hydro_AS (2D), MIKE 21 2D). To prepare maps there is required quality of the input data, such as digital elevation model (DEM), land use map, map of hydrologic soil groups, other hydrological data, hydro-mechanical elements, topographic data, aerial photographs and the like. An important part of flood maps is their cartographic visualization in analogue and digital form. As part of their work it is necessary to define the catalogue of objects of flood maps and how objects will be visualized (attributes and colour expression, etc.). The paper deals with the hydrodynamic analysis and rainfall-runoff models, content analysis of flood maps and visualization capabilities using the rules of INSPIRE data specifications in the production and/or publishing of flood maps.

Keywords: GIS, hydrodynamic models, rainfall-runoff models, flood maps

ÚVOD

V súčasnosti je problematika tvorby protipovodňových máp veľmi aktuálnou témou, no napriek tomu v SR nie je vypracovaná ucelená a podrobná metodika ich tvorby. Potrebné náležitosti ako je obsah, prvky vizualizácie či predmet záujmu sú legislatívne spracované, ale bez jednotnej metodiky ostáva stále pomerne veľké množstvo záležitostí v rovine voliteľných možností.

Mapy povodňového ohrozenia a rizika sa vytvárajú pomocou geografických informačných systémov (GIS). V rámci tvorby týchto máp sa v SR venuje malá pozornosť ich kartografickej vizualizácii (statickej a dynamickej). Nie sú stanovené všeobecné zásady resp. jednoznačné kartografické pravidlá tvorby máp povodňového ohrozenia a rizika v analógovej a digitálnej forme.

Mapy protipovodňovej ochrany vytvorené pomocou GIS je možné publikovať v prostredí internetu prostredníctvom webových služieb (WMS - Web Map Service, WFS – Web Feature Service a i.). Tieto služby sú štandardmi vyvinutými konzorciom Open Geospatial Consortium (OGC) a umožňujú zdieľanie priestorových dát v rastrovej alebo vektorovej forme v prostredí internetu. Prostredníctvom webových portálov sa zlepšuje prístupnosť dát protipovodňovej ochrany pre samosprávy a širokú verejnosť.

1. LEGISLATÍVA V OBLASTI PROTIPOVODŇOVEJ OCHRANY

Na dosiahnutie súladu legislatívy SR a EÚ bola transponovaná smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES o hodnotení a manažmente povodňových rizík [19] do právneho systému SR zákonom č. 7/2010 Z. z. o ochrane pred povodňami [22], ktorý nadobudol účinnosť 1. februára 2010. Zákon definuje opatrenia na ochranu pred povodňami a povinnosti pri hodnotení a manažmente povodňových rizík s cieľom znížiť nepriaznivé dôsledky povodní na ľudské zdravie, životné prostredie, kultúrne dedičstvo a hospodársku činnosť. Čo sa týka vyhotovovania povodňových máp, zákon dopĺňa Vyhláška č. 419 Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky z 13. októbra 2010, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o vyhotovovaní máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika, o uhrádzaní výdavkov na ich vypracovanie, prehodnocovanie a aktualizáciu a o navrhovaní a zobrazovaní rozsahu inundačného územia na mapách [21]. V SR je ucelená a záväzná metodika tvorby plánov manažmentu povodňového rizika v štádiu tvorby a pripomienkovania. Vychádza z doteraz publikovaných štúdií a tvorby máp povodňového ohrozenia a rizika pre lokálne oblasti.

Mapy protipovodňovej ochrany rozdeľujeme na mapy povodňového ohrozenia a mapy povodňového rizika. Vyhotovujú a aktualizujú sa v digitálnej forme a v analógovej forme s technickými náležitosťami stanovenými správcom vodohospodársky významných vodných tokov. Zobrazujú v rovnakej mierke a na rovnakom počte mapových listov identické geografické oblasti, v ktorých existuje potenciálne významné povodňové riziko alebo v ktorých možno predpokladať, že je pravdepodobný jeho výskyt [21]. Mapy protipovodňovej ochrany majú byť verejnosti dostupné prostredníctvom internetu a podľa zákona [22] je definované, ktorým inštitúciám sú poskytované v analógovej forme. Členské štáty EÚ musia zabezpečiť, aby boli mapy povodňového ohrozenia a rizika dokončené do 22. decembra 2013.

1.1 Mapy povodňového ohrozenia

Podľa (smernica, 2007) sú členské štáty EÚ povinné vytvoriť na úrovni správneho územia povodia alebo správnej jednotky mapy povodňového ohrozenia a rizika v najvhodnejšej mierke.

Mapy povodňového ohrozenia pokrývajú geografické oblasti, ktoré by mohli byť zaplavené podľa nasledujúcich scenárov:

- povodne s nízkou pravdepodobnosťou opakovania alebo scenáre výnimočných udalostí,
- povodne so strednou pravdepodobnosťou opakovania (doba opakovania ≥ 100 rokov),
- prípadne povodne s vysokou pravdepodobnosťou opakovania.

Podľa vyhlášky [21] sa tieto scenáre v mape povodňového ohrozenia zobrazia záplavovými čiarami spoločne a taktiež aj každá osobitne. V mape povodňového ohrozenia sa zobrazujú (orientačne) nasledujúce náležitosti:

- rozsah povodne (maximálna hladina povodne) znázornený záplavovou čiarou, ktorou je priesečnica hladiny vody záplavy s terénom,
- hĺbka vody alebo hladina vody,
- rýchlosť prúdenia vodného toku alebo príslušný prietok vody, ak je to potrebné.

Grafické spracovanie maximálnej hladiny sa vyhotoví vo forme pozdĺžneho profilu vodného toku, číselne v tabuľke príp. inak [21]. Hĺbka a rýchlosť prúdenia vody sa ako výsledok hydrodynamického modelovania povodne zobrazia vo forme 2D rastra (ESRI GRID príp. ASCII), kde každá bunka rastra nesie informáciu o hĺbke resp. rýchlosti prúdenia vody.

1.2 Mapy povodňového rizika

Mapy povodňového rizika uvádzajú potenciálne nepriaznivé dôsledky spojené s povodňami podľa scenárov a obsahujú orientačný počet potenciálne postihnutých obyvateľov, druh hospodárskej činnosti v potenciálne postihnutej oblasti, zariadenia, ktoré by mohli v prípade zaplavenia spôsobiť havarijné znečistenie, a potenciálne postihnuté chránené oblasti a iné informácie, ktoré považujú členské štáty za užitočné.

Mapy povodňového rizika sú takpovediac nadstavbou máp povodňového ohrozenia. Spájajú v sebe totiž údaje o ohrození územia povodňami z mapy povodňového ohrozenia s údajmi o potenciálne nepriaznivých dôsledkoch, ktoré tieto povodne môžu spôsobiť.

Mapy povodňového rizika podľa § 7 [22] musia obsahovať:

- záplavovú čiaru, ktorá ohraničuje povodňami potenciálne ohrozené územia, ktorá je zhodná so záplavovou čiarou zobrazenou na mape povodňového ohrozenia,
- údaj o odhadovanom počte povodňou potenciálne ohrozených obyvateľov,
- druhy hospodárskych činností na území potenciálne ohrozenom povodňou,
- lokality s priemyselnými činnosťami, ktoré môžu pri zaplavení spôsobiť havarijné znečistenie vody,
- polohu potenciálne ohrozených území pre odber vody pre ľudskú spotrebu a na rekreačné činnosti,
- lokality s vodami vhodnými na kúpanie,
- informácie o ďalších významných zdrojoch potenciálneho znečistenia vody po ich zaplavení počas povodne,
- územia, ktoré tvoria národnú sústavu chránených území a európsku sústavu navrhovaných a vyhlásených chránených území (NATURA 2000), ak sa nachádzajú v geografickej oblasti zobrazenej na mape povodňového ohrozenia,
- informácie, ktorých zobrazenie na mapách povodňového rizika považuje Ministerstvo životného prostredia (MŽP) za užitočné a o ktorých informovalo správcu vodohospodársky významných vodných tokov najneskôr jeden rok pred termínmi dokončenia (22.12.2013) alebo prehodnotenia a aktualizácie (do 22.12.2019) máp povodňového rizika podľa §7 ods.3.

Je zrejmé, že na tvorbu máp povodňového rizika je potrebné, oproti mapám povodňového ohrozenia, zozbierať ďalšie údaje týkajúce sa hlavne osídlenia a hospodárskej činnosti. Podklady na tieto účely poskytujú orgány verejnej správy vo vzájomne dohodnutom termíne, forme a formáte bezplatne [22].

2. POTREBA HYDRODYNAMICKÉHO MODELOVANIA PRI PRÍPRAVE POVODŇOVÝCH MÁP A V MANAŽMENTE POVODŇOVÝCH RIZÍK

Modelovanie môžeme definovať ako zastúpenie objektov, procesov alebo systémov. V hydrológii je model vo väčšine prípadov matematická reprezentácia procesov v povodí.

Simulácia je podľa Huberta [9] termín na znázornenie alebo napodobenie fyzikálnych, technických, biologických, psychologických alebo ekonomických procesov prostredníctvom matematických alebo fyzikálnych modelov. Môžeme ju definovať tiež ako prenos udalosti alebo série súvisiacich udalostí prostredníctvom modelu (modelovania).

2.1 Hydrodynamické modelovanie

V poslednom období sú pre simuláciu povodní využívané hydrodynamické matematické metódy založené na fyzikálnych vzťahoch (zákon zachovania hmotnosti a hybnosti). Hydraulické dvojdimenzionálne modelovanie je vyvinuté pre modelovanie rozsahu povodne v záplavových oblastiach [3], [4].

Cieľovými parametrami numerickej simulácie prúdenia sú výpočty hladiny vody a rýchlosti prúdenia, ako aj kvantifikácia šírenia povodne vrátane retenčného efektu. Okrem toho môžu byť hydrodynamické (HD) modely použité na analýzu erózie a procesov sedimentácie, rovnako ako na sledovanie rozptylu znečisťujúcich látok. Kvantifikáciou prietokových parametrov v ohrozených oblastiach (intenzitu a trvanie zaplavenia, rýchlosť prúdenia), v kombinácii s údajmi o využívaní pôdy môže byť určený potenciál škôd.

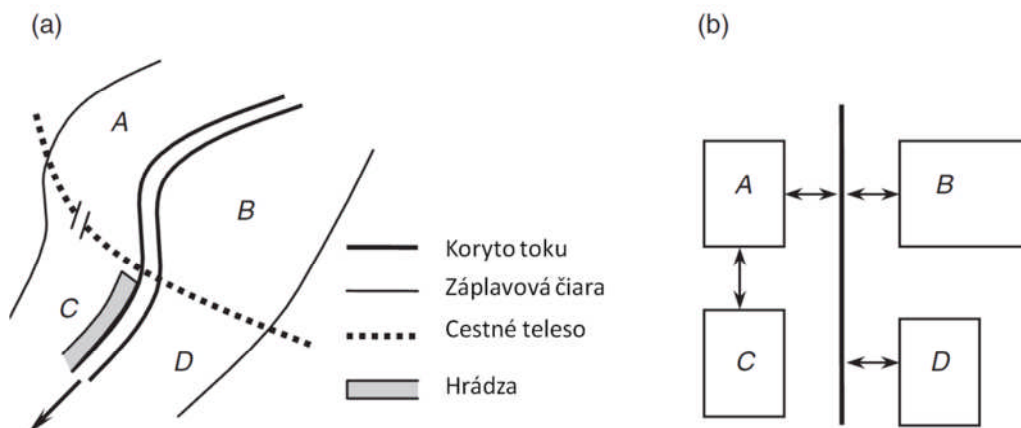
Okrem rozumného výberu modelovacích metód (závislosť na čase a pod.) a modelových analýz, je to predovšetkým kalibrácia modelu, ktorá má osobitný význam pre simuláciu povodne vzhľadom k veľkým neistotám, ktoré sú spôsobované topografickými a hydrologickými vstupnými dátami rovnako ako aj potreba empirických hydraulických parametrov.

Kvalita povodňových máp značne závisí od kvality použitých digitálnych modelov reliéfu (DMR). Neistoty v DMR, sú viac a viac prekonávané prostredníctvom zvýšenej dostupnosti digitálnych modelov vo vysokom rozlíšení (napr. laserové snímky zemského povrchu). Napriek týmto zvýšeným technickým štandardom a pokrokom v praxi možno konštatovať, že stanovenie povodňových rizík naďalej zostáva náročnou úlohou, najmä pokiaľ ide o nejasnosti týkajúce sa mimoriadnej udalosti, kedy rozsah povodne presahuje znázornený rozsah na povodňových mapách, alebo škody ktoré vzniknú v dôsledku zlyhania protipovodňových opatrení **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

2.2 Definícia dvojdimenzionálneho hydrodynamického modelu (2HD)

Záplavové oblasti väčšinou pôsobia ako priestory s retenčným potenciálom, kde voda tečie veľmi pomaly v porovnaní s typickou rýchlosťou prúdenia v koryte toku. Dôvodom je, že hĺbka vody (a teda hydraulický polomer), je oveľa menší ako v koryte toku, so zvýšeným vplyvom trenia.

Reprezentovanie záplavového územia ako súčasť priečného profilu vodného toku by viedlo k narušeniu predpokladu, že zmeny v prietoku vody (rýchlosti prúdenia) možno považovať za jednotné v danom priečnom profile. Záplavové oblasti sú reprezentované pomocou tzv. *buniek* alebo *pamätových jednotiek* (obr. 1). Bunky si môžu vymieňať objem vody medzi sebou a korytom toku (proces sa dá vyjadriť vzťahom $\frac{\partial V S_i}{\partial t} = -\sum_j Q_{i,j}$) [15], teda bunkový spôsob poskytuje zjednodušenú, prijateľnejšiu a presnejšiu reprezentáciu prúdenia vody v toku. Definícia a parametrizácia spojenia medzi prúdením vody v koryte toku a bunkami, rovnako ako väzby medzi retenčnými bunkami, musí zahŕňať výmenu existujúcich schém a modelov.



Obr. 1. Definícia dvojdimezionalneho hydrodynamického modelu. (a) reálna situácia, (b) schematické znázornenie vzťahov v dvojdimezionalnom modeli [15]

Zoberme si príklad kedy cestné teleso križuje záplavovú oblasť, spoločne s hrádzou izoluje pravú stranu záplavovej oblasti od hlavného koryta toku pod cestou, ako je načrtnuté na obrázku 1. Predpokladajme, že prepojenosť záplavovej oblasti na pravej strane rieky je zabezpečená pomocou mostného telesa alebo pomocou priepustov, ktoré umožňujú doméne A a C komunikovať, zatiaľ čo komunikácia na ľavej strane kanála medzi podoblasťami B a D je nemožná. V dvojdimezionalných modeloch musí byť definovaná súvislosť medzi A a C, zatiaľ čo medzi B a D neexistuje žiadna forma komunikácie. Nemožnosť výmeny objemu vody medzi hlavným korytom toku a bunkou C je spôsobená absenciou potrebných vzťahov v modeli [15].

V Čechách a na Slovensku sa najčastejšie pre určovanie záplavových oblastí a povodňových máp vo všeobecnosti využívajú produkty firmy DHI, konkrétne 1D modely Mike 11 a 2D modely Mike 21, Mike flood, ale taktiež HEC-RAS, SMS a iné. V prostredí Rakúska a Nemecka sú to zväčša Hydro_As-2D, HEC-RAS, CCHE2D, SMS, TELEMAC-2D a produkty firmy DHI.

2.2 Povodňové mapy v procese manažmentu povodňových rizík

Hydrodynamické numerické simulácie povrchového odtoku (zobrazené pri povodňových mapách) sú kľúčovým prvkom pre realizáciu koncepcií riadenia povodňových rizík v mestských oblastiach. V tejto súvislosti sa GIS ukázali ako živná platforma pre analýzu povodňových dát. GIS sa taktiež stali podstatným nástrojom pre modelové nastavenia, rovnako ako ďalšie spracovanie hydraulických výsledkov (napr. mapovanie povodňového ohrozenia).

Vo väčšine prípadov sú hydrodynamické modely použité na dokumentovanie povodňovej udalosti z posledných desaťročí (za účelom posúdenia súčasných hydraulických podmienok) alebo pre štatistické vyhodnotenie povodní s dobou opakovania až do 100 alebo 200 rokov (napr. pre vymedzenie inundačných území alebo znázornenie situácie pri použití rôznych druhov protipovodňových opatrení). Vzhľadom na rastúcu zložitosť procesu, napríklad v prípade pretečenia alebo dokonca zničenia štruktúry protipovodňovej ochrany, a nedostatok meraní pre kalibrácie a validácie parametrov modelu, je aplikácia hydrodynamického modelovania pri väčších záplavách zriedkavá. Avšak i napriek neistotám, je nutné použiť hydrodynamické modely na povodne, ktoré presahujú úroveň sto alebo dvesto ročnej povodne, pretože tieto modelové situácie sú najviac relevantné z hľadiska zvyškových rizík, ktoré spôsobujú veľké škody a úmrtia.

Pravdepodobnosť záplav môže byť určená kombináciou hydrologického modelovania a záznamom štatistických informácií pre opakujúce sa intervaly kulminačných prietokov. Vďaka tomu je možné vykonávať hodnotenia rizík, zostaviť prioritné zoznamy pre implementáciu konceptov ochrany (vyčíslieť náklady vynaložené na ochranné opatrenia a porovnávať ich s odhadovanými škodami) a stanovenie návrhových parametrov pre technické protipovodňové opatrenia. Okrem toho môžu byť výsledky použité ako základ pre varovanie a evakuačné plány. V spolupráci s operačným strediskom povodňového varovného a

predpovedného systému môžu povodňové mapy pripravené na základe hydrodynamického modelovania rozhodujúcim spôsobom zlepšiť koordináciu zásahov v prípade povodne [16].

2.3 Aplikácia GIS v hydrodynamickom modelovaní

Vďaka nástrojom hydroinformatiky, ktoré sa uplatňujú počas povodne, môžeme získavať cenné informácie a poznatky týkajúce sa povodní, ich šírenia a rozsahu. Aplikáciou matematických modelov zameraných na stanovenie prietokových parametrov (hladiny vody, hĺbka vody a rýchlosť šírenia) vieme vyhodnocovať štatisticky generované povodne, rovnako ako aj povodne v reálnom povodí. Tieto výsledky sú použité v ďalšom kroku pre definíciu záplavových zón a umožňujú analýzu potrebných opatrení protipovodňovej ochrany v celom povodí. To pomáha riešiť problémy s pokračujúcou urbanizáciou a hospodárskym rastom v oblastiach vystavených povodniam, čo taktiež súvisí s ďalším nárastom počtu obyvateľov a potenciálnym rizikom ekonomických a kultúrnych škôd. Je dôležité, aby sa tieto oblasti jasne vymedzili ako záplavové oblasti a aby sa adekvátne regulovalo využívanie týchto území. Táto úloha nie je splniteľná bez silných a overených nástrojov hydroinformatiky, akými sú digitálny model terénu (DTM), hydrodynamické modely a GIS [18].

Adekvátny odhad hĺbky vody pri modelovaní povodní je ťažké získať, a tým robí predpovedanie povodne nejasným. V posledných rokoch máme k dispozícii nové techniky pre terénny zber dát, ktoré majú potenciál poskytovať dáta s vysokým rozlíšením. GIS poskytujú riešenia na získanie plnohodnotných dát o stave životného prostredia a umožňujú pracovať s nimi v podobe databáz s priestorovo distribuovanými funkciami a taktiež pracovať s rôznymi metódami na získanie, zhromažďovanie, formovanie, analyzovanie a zobrazovanie 2D a 3D geografických dát [17].

Zvláštnosťou povodňových simulácií (v porovnaní s ostatnými hydraulickými problémami) je, že vyžadujú priestorové overenie v prostredí riek a záplavových oblastí. Tieto overenia prebiehajú na základe dostupných údajov z rôznych dátových súborov. Pre tento účel je všeobecne používaný lineárny rámec pre pozíciu rieky, používaný v hydraulike toku, ktorý však nie je dostačujúci. Preto sa pri príprave vstupných dát a spracovaní výstupných dát pri všetkých metódach použitých na simuláciu rozsahu povodne produkuje veľké množstvo časovo závislých priestorových údajov. V tejto súvislosti sa GIS ukázal ako užitočný nástroj v procese analýzy povodňových dát, pretože umožňuje:

- Prvotnú analýzu skúmaného územia (výber metód pre simulácie, určenie hraníc modelu atď.).
- Zbieranie a spracovávanie topografických informácií a ich prepojenie (a prípadnú interpoláciu) na vytvorenie DMR.
- Vytvorenie systému geometrie HD modelu (získavanie údajov z priečných profilov na toku v prípade 1D modelov, dáta pre 1D modely).
- Definovanie stability toku (napr. prostredníctvom analýzy digitálnych ortofotomáp).
- Spracovanie a vizualizáciu kontrolovaných dát ako základ pre kalibráciu modelu (sledovanie výšky vodnej hladiny, rozsah povodne znázornený záplavovou čiarou).
- Generovanie a hodnotenie inundačných území a záplavových oblastí (napr. prezentácia výpočtov z 1D modelovania na prípadovej štúdii).
- Vizualizáciu a analýzu výsledkov výpočtu (napr. smer prúdenia v 2D simulácii povodne, hladinu vody a rozdiely medzi viacerými zisteniami).
- 3D animácie rozsahu povodne.

Existuje celý rad dostupných GIS-om podporovaných hydrodynamicko-numerických softvérových produktov, ktoré možno účinne použiť pokiaľ pracujú s adekvátnymi topografickými dátami a spoľahlivými údajmi o kalibrácii. Existujúce nástroje môžu byť použité na získanie informácií o povodňovej hĺbke (hĺbke vody) a rýchlosti prúdenia s vysokým časovým a priestorovým rozlíšením. Nastavenie HD modelov vo všeobecnosti znamená extrahovať dáta pomocou GIS metód z DTM a mapy využitia územia (Land use) a uložiť ich

v príslušnom HD softvérovom formáte. Metóda laserového skenovania môže poskytnúť informácie o teréne údolia riek vo forme rastrových dát v požadovanom rozlíšení. Z meraných dát môžu byť topografia a stav vegetačného krytu [7] odvodené rovnako, ako napr. objekty technického charakteru, ako sú napr. budovy [20].

Enormné množstvo produkovaných dát HD modelovaním, najmä premenlivých výpočtoch, vyžaduje ďalší rozvoj v oblasti správy dát. Najnovšie verzie programov GIS majú pretrvávajúce problémy pri plynulom manipulovaní s veľkými dátovými zdrojmi, a implementácia časovo premenných dát je stále elementárna. Nové trendy zaznamenávame v spôsobe distribúcie digitálnych dát pomocou webových technológií s voľným prístupom verejnosti k údajom, ako sú napr. ortofotomapy, topografické mapy, DTM alebo údaje o využití územia. Obmedzenie môže nastať pri rôznych druhoch surových dát, taktiež koordinácia rôznych súradnicových systémov, zväčša pri medzinárodných projektoch môže viesť k vytváraniu závažných chýb a vedie k výraznej strate času a peňazí pri nastavovaní modelov [16]. Metodiky pre spoľahlivú interpretáciu dát sú predmetom výskumnej činnosti. Výskum pokrýva najmä hydraulické a hydrologické požiadavky na algoritmy pre zjednodušenie obrovského množstva informácií, avšak pri zachovaní relevantných hydraulických a topografických štruktúr [13].

3. VYUŽITIE GIS PRI VIZUALIZÁCII POVODŇOVÝCH MÁP

GIS sú obzvlášť žiadané a prispievajú k určeniu dôležitých otázok. Modelujú situácie reálneho sveta, vrátane ich priestorových a časových aspektov, ich aplikačné oblasti sú veľmi široké [5], [14]. GIS obsahuje údaje, ktoré predstavujú určitú časť reality, ale ľudia sa líšia v spôsobe, akým si ich dokážu predstaviť v reálnom svete a ako reprezentujú to, čo vidia.

3.1 Mapa ako komunikačný prostriedok

Mapy majú byť vecné, objektívne, neemocionálne reprezentácie priestoru [8]. Mapy v súvislosti s mapovaním a komunikačnými modelmi, sa javia ako dôležitý komunikačný prostriedok poskytujúci používateľovi informácie o priestorových javoch ako podporu na rozhodovanie a priestorové analýzy. Mapy ohrozenia a rizík slúžia svojmu účelu, pokiaľ sú správne interpretované [10].

Prvá vec, o ktorej je potrebné uvažovať už pri tvorbe mapy a príprave na jej publikovanie, je, že čo sa stane, keď je mapa zobrazená používateľovi. Mala by byť zobrazená vo vhodnej mierke. To, čo používateľ považuje za vhodné, samozrejme nie je možné s úplnosťou predvídať. Avšak mierka môže byť prispôbená podľa viacerých parametrov, ktoré môžu byť zaradené v službe požiadavky od používateľa [8]. Typicky, mapové databázy obsahujú veľké množstvo geografických objektov. Nie všetky z nich sú zaujímavé pre používateľa. Používateľ môže chcieť vykonať množstvo možných mapových operácií. Približovanie/vzdialovanie je zmena rozsahu pri zachovaní stredu mapy. To znamená, že úroveň detailov v mape (alebo úroveň podrobností zobrazených v mape) sa musí zmeniť v prípade, že zobrazovacia plocha nemá byť preplnená. Posun je iný druh operácie, v ktorej môže používateľ navigovať do strán a smerom hore a dole do rôznych oblastí mimo zobrazenej mapy.

3.2 Vizualizácia geopriestorových dát pre povodňové mapy

Priestorovo vzťahnuté informácie hrajú v rozhodovacích procesoch v krízovom manažmente kľúčovú úlohu, pričom významná časť týchto informácií je získavaná z dostupných mapových podkladov. Informácie je potrebné používateľom prezentovať v takej forme, aby ich z mapy dokázali získať čo najrýchlejšie a najsprávnejšie. Pri digitálne prezentovaných mapách je možné s výhodou využiť voľbu spôsobu reprezentácie zobrazovaných prvkov v závislosti na okolnostiach ich použitia. Prínosom GIS a webových technológií je umožnenie zdieľania geopriestorových dát v distribuovanom prostredí internetu.

Geografická vizualizácia je podľa MacEachrena [12] forma vizualizácie informácií, v ktorej sú integrované zásady kartografie, GIS, prieskumnej analýzy dát, zobrazovania informácií, ktoré uľahčia prieskum, analýzu, syntézu a prezentáciu geograficky informácií.

Za účelom byť lepšie pripravení na budúce povodne, musia byť nevyhnutne zdokonalené a vylepšené metódy zamerané na zisťovanie povodňových udalostí už v rannej fáze. Monitorovanie povodní môže významne prispieť k zníženiu povodňových škôd- akákoľvek úspora času je často kritická pri príprave protipovodňových opatrení v záplavových oblastiach. Jedná sa predovšetkým o nezávislý prístup k údajom v reálnom čase [11].

3.2.1 Možnosti kartografickej vizualizácie

Dňa 13. októbra 2010 bola na Slovensku vydaná Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja SR č. 419/2010 ktorou sa ustanovujú podrobnosti o vyhotovovaní máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika, o uhrádzaní výdavkov na ich vypracovanie, prehodnocovanie a aktualizáciu a o navrhovaní a zobrazovaní rozsahu inundačného územia na mapách [21]. Definuje geografické oblasti zobrazované na mapách povodňového ohrozenia a mapách povodňového rizika, uvádza podmienky odhadu maximálneho prietoku povodne a určenia priebehu maximálnej hladiny povodne a definuje geodetické systémy, v ktorých sa majú povodňové mapy vyhotovovať a aktualizovať. Sú nimi spravidla súradnicový systém Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK) a Baltský výškový systém po vyrovnaní (Bpv).

Čo sa týka možností kartografickej vizualizácie a ich pravidiel v rámci priestorovej infraštruktúry, v rámci Európskej únie sú v smernici INSPIRE obsiahnuté základné informácie nutné pre vytváranie infraštruktúry, pričom dôležitými dokumentmi z kartografického hľadiska sú dátové špecifikácie vydané ako nariadení, ktoré popisujú konceptuálny model dátových sád jednotlivých tém INSPIRE, vrátane presných definícií obsahu tried, objektov a atribútov. Tretia verzia dátových špecifikácií, ktoré boli publikované ako Návod pre tematický okruh priestorových údajov zahrnutých v prílohe I. smernice bude doplnkom k implementačným pravidlám pre interoperabilitu priestorových údajov a služieb priestorových údajov spolu so súvisiacimi GML (Geography Markup Language) aplikačnými schémami, UML (Unified Modeling Language - unifikovaný modelovací jazyk) modelmi a registrami. Všetky tieto dokumenty budú slúžiť na podporu implementácie a lepšie pochopenie požiadaviek vyplývajúcich z implementačných pravidiel. Návrh nariadenia pre interoperabilitu priestorových údajov a služieb priestorových údajov sú v súčasnosti pripravované na prijatie Európskou komisiou. Kartografické pravidlá síce nie sú záväzné pre všetky témy INSPIRE, ale vizualizačné pravidlá sú definované pre väčšinu publikovaných špecifikácií prílohy I. smernice. Vytvorenie legendy je záväzné pre všetky dáta a služby kompatibilné s INSPIRE. Pre INSPIRE sa neuvažuje o generalizácii v reálnom čase, ale sú odporúčané viacnásobné kartografické reprezentácie pre jednotlivé mierky resp. ich rozsahy. Pre presné odovzdávanie informácie je používaný jazyk UML, ktorý zaisťuje definíciu jednotlivých objektov, vzťahov a väzieb medzi nimi a definíciu príslušných atribútov. Pri UML je jedným z cieľov poskytnúť komunite vývojárov stabilný a všeobecný jazyk, ktorý by mohol byť využívaný na rozvoj a budovanie počítačových aplikácií. UML uviedol jednotný štandard modelovania notácie [1]. Na rozdiel od prevažne textovo orientovaných programovacích jazykov, UML má:

- vlastnú grafickú syntax (pravidlá pre zostavovanie jednotlivých elementov jazyka do väčších objektov),
- sémantiku (jednoznačné pravidlá určujúce jednotlivým syntaktickým výrazom ich význam).

Pravidlá pre kartografickú vizualizáciu vychádzajú zo špecifikácií konzorcia OGC (Open Geospatial Consortium):

- Implementačná špecifikácia Web Map Service (WMS) 1.3.0,
- Implementačná špecifikácia OpenGIS Styled Layer Descriptor (SLD) 1.1,
- Implementačná špecifikácia OpenGIS Symbology Encoding SE 1.1,
- Implementačná špecifikácia Feature Encoding (FE) 1.1.

SLD definuje kódovanie, ktoré umožní rozšírenie WMS špecifikácie, vďaka čomu môžu používatelia definovať vlastnú *symbolizáciu prvkov* a dáta pokrytia. Umožní to jednoznačne určiť, ktorá vlastnosť alebo vrstva bude zobrazená (renderovaná) používateľom definovanou farbou alebo symbolom. SLD adresovanie

umožní používateľom (ale aj softvéru) jednoznačne kontrolovať vizuálne zobrazovanie geopriestorových dát. Schopnosť definovať pravidlá na úpravu si vyžaduje vlastný jazyk na definovanie štýlov, ktorému budú rozumieť obe strany (klient aj server). *Symbology Encoding (SE)* poskytuje tento jazyk, SE je úplne nezávislé na definíciách akýchkoľvek služieb, vďaka čomu môže byť využité na definovanie štýlov pre informácie systémov, ktoré nie sú prepojené na žiadne typy služieb (napr. desktopové GIS). SLD profil WMS služby potom definuje spôsob, ako bude SE aplikované do WMS vrstiev.

Spôsoby zobrazenia geopriestorových dát, ktoré sú v tomto prípade k dispozícii:

- publikovanie samotných dát prostredníctvom konverzie z pôvodných formátov v GIS (alebo CAD) do formátu GML – založený na XML, neobsahuje pravidlá pre vizualizáciu,
- prostredníctvom webových služieb (Web Map Service, Web Feature Service, ...).

Tak ako by sme mali zaobchádzať so štýlom mapy resp. kartografickou vizualizáciou? Nechceme, aby ovládanie štýlu mapy bolo vložené v mapových dátach, pretože by to bolo náročné na spravovanie. Chceli by sme tiež, aby sme boli schopní vziať štýly, ktoré sme vyvinuli a aplikovať ich rôzne iné dáta. Podobnú paralelu možno vidieť v prípade HTML, aby sme sa vyhli informácii o vzhľade vloženej naprieč samotným HTML dokumentom, boli vyvinuté *kaskádové štýly CSS* (Cascading Style Sheets) ako jednoduchý mechanizmus na vizuálne formátovanie internetových dokumentov, ktorý umožnil oddeliť štruktúru HTML (alebo XHTML) od vzhľadu. Jazyk XML (eXtensible Markup Language) je všeobecným formátom na výmenu dát. Vypracovalo a podporuje ho medzinárodné konzorcium W3C (World Wide Web Consortium).

XML je textový formát, ale okrem čistého textu obsahuje pomenované *značky* (elementy), ktoré ohraničujú jednotlivé informácie. Medzi výhody tohto jazyka patrí univerzálnosť, rozšíriteľnosť a vďaka množstvu dostupných nástrojov ľahké spracovanie. Na použité značky XML nekladie žiadne obmedzenia. Pre tento účel špecifikácia obsahuje jazyk *DTD* (*Document Type Definition*), ktorý umožňuje obmedziť, ktoré elementy a atribúty sa môžu vyskytovať na ktorom mieste, v akom poradí a počte. DTD má však niektoré obmedzenia a zložitú syntax. Preto vznikli nové jazyky.

3.2.2 QGIS MapServer

Zaujímavým riešením publikovania tematických máp, pri zachovaní resp. možnosti vhodného ďalšieho definovania kartografickej vizualizácie, je využitie QGIS (QuantumGIS) mapserver-a. *QGIS MapServer* je open source FastCGI/CGI program pod licenciou GPL napísaný v jazyku C++, pracuje spolu s webserverom (vo väčšine prípadov Apache). Čo je podstatné, QGIS MapServer implementuje pokročilé kartografické charakteristiky ako sú špecifikované v špecifikáciách mapovej a diagramovej služby. FastCGI dovoľuje serveru odpovedať na veľa požiadaviek od rôznych klientov Prostredníctvom QGIS MapServer-a môže byť obsah vektorových a rastrových zdrojov dát (ako napr.: shapefile, gml, postGIS, geotiff) vizualizovaný podľa kartografických pravidiel špecifikovaných ako požadované parametre. Vygenerovaná mapa je zaslaná späť ku klientovi prostredníctvom internetu.

Vlastnosti QGIS MapServera:

- zlepšená WMS prostredníctvom HTTP GET. Podporuje *GetCapabilities*, *GetMap*, *GetStyle*, *GetFeatureInfo* a vlastné štýlovanie s SLD,
- SOAP (Simple Object Access Protocol) prostredníctvom HTTP POST, pričom SOAP je protokol na výmenu správ založený na XML prostredníctvom siete, hlavne pomocou http,
- Natívna konfigurácia s SLD, používateľsky prívetivá mapová symbolizácia s QGIS Desktop a zásuvným modulom PublishToWeb,
- Kartografické rozšírenia k SLD (diagramy, vzory a vlastné symboly s vektorovou grafikou SVG scalable vector graphics), pričom SVG je značkovací jazyk a formát súboru, ktorý popisuje dvojrozmernú vektorovú grafiku pomocou XML.

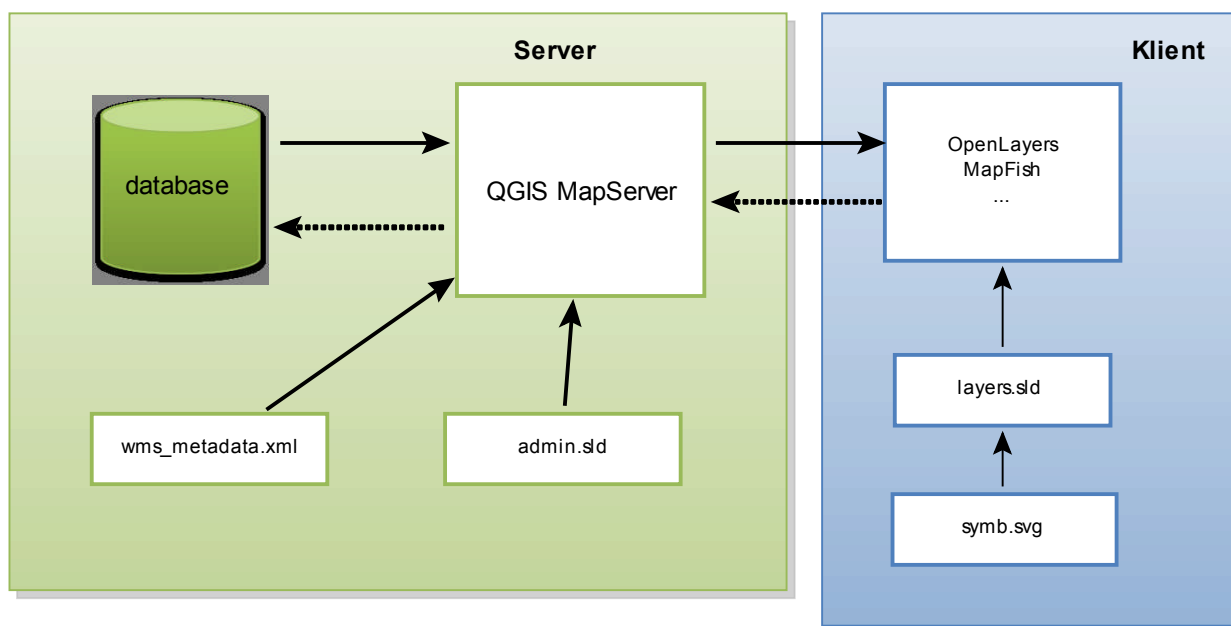
Konfigurácia QGIS MapServer-a

Poskytovaná služba QGIS MapServer-a je popísaná prostredníctvom súboru *wms_metadata.xml*, ktorý obsahuje popis ponuky, ako aj informácie o organizácii a kontaktnej osobe (obr. 2) pričom tieto informácie môže používateľ vyžiadať pomocou *GetCapabilities*.

```
<!-- Service Metadata -->
<Service>
  <Name>VEC25_WMS</Name>
  <!-- Human-readable title for pick lists -->
  <Title>Vektor 25, WMS</Title>
  <!-- Narrative description providing additional information -->
  <Abstract>GIS_Ostrava_project, Ladislav D</Abstract>
  <!-- Top-level web address of service or service provider <DCPType>. -->
  <OnlineResource type="simple" href="http://localhost" />
  <!-- Contact information -->
  <ContactInformation>
    <ContactPersonPrimary>
      <ContactPerson>Ladislav D</ContactPerson>
    </ContactPersonPrimary>
    <ContactVoiceTelephone></ContactVoiceTelephone>
    <ContactElectronicMailAddress>ladislav@stuba.sk</ContactElectronicMailAddress>
  </ContactInformation>
</Service>
```

Obr.2. Príklad zobrazenia informácií o kontaktnej osobe v súbore *wms_metadata.xml*

Čo sa týka konfigurácie vrstiev, QGIS MapServer používa XML schému SLD, staticky sú predstavované vrstvy popísané prostredníctvom SLD v súbore *admin.sld* na serveri. QGIS MapServer zodpovedá prostredníctvom požiadavky HTTP GET a HTTP POST. Prostredníctvom funkcie *REQUEST* podporuje operácie *GetCapabilities* a *GetMap*. Pri požiadavke *GetMap* môže byť jedna a tá istá vrstva vyžadovaná rôznymi štýlmi. Namiesto použitia parametra *Layers* a *Styles* môže byť prostredníctvom parametra *SLD_BODY* pripojený SLD Dokument (obr. 3 odozva/odpoveď- plná čiara, požiadavka- prerušovaná čiara) ako reťazec s prvkami *NamedLayer* a *NamedStyle*. Môžu byť použité nielen preddefinované štýly cez *NamedStyle*, ale aj používateľom špecifikované reprezentácie, ako je opísané v nasledujúcej časti SLD, v prvku s parametrom *SLD_BODY*. Štruktúra SLD umožňuje, že pre jednu vrstvu môžeme definovať viacero štýlov (napr. pre viacero rozsahov mierok a pod.).



Obr.3. Štruktúra dynamického zobrazenia mapy na internete (upravené podľa [6])

QGIS MapServer v kombinácii so spravovaním dát v databáze (napr. pri PostGIS - Implementácia štandardu OpenGIS pre PostgreSQL) je plne k dispozícii pre vrstvy mapy povodňového ohrozenia, rizika, podkladovú vrstvu (ortofotosnímky, ...) ako aj aplikáciu OpenLayers na strane klienta.

ZÁVER

V súčasnosti je problematika tvorby máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika veľmi aktuálnou témou, no napriek tomu v SR nie je vypracovaná ucelená a podrobná metodika ich tvorby. Čiastočne je metodicky načrtnutý rámec vo Vyhláske č. 419/2010, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o vyhotovovaní máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika, o uhrádzaní výdavkov na ich vypracovanie, prehodnocovanie a aktualizáciu a o navrhovaní a zobrazovaní rozsahu inundačného územia na mapách.

Hydrodynamické modelovanie je jedným zo základných nástrojov na tvorbu povodňových máp. Jedná sa o hydrodynamické matematické metódy založené na fyzikálnych vzťahoch. Hydraulické dvojdimenzionálne modelovanie je vyvinuté pre modelovanie rozsahu povodne v záplavových oblastiach, cieľovými parametrami numerickej simulácie prúdenia sú výpočty hladiny vody a rýchlosti prúdenia.

Priestorovo vzťahnuté informácie hrajú v rozhodovacích procesoch v krízovom manažmente kľúčovú úlohu, pričom významná časť týchto informácií je získavaná z dostupných mapových podkladov. Informácie je potrebné používateľom prezentovať v takej forme, aby ich z mapy dokázali získať čo najrýchlejšie a najsprávnejšie. Protipovodňoví špecialisti potrebujú čo najaktuálnejšie údaje, vizualizované vo forme interpretovaných a dobre čitateľných máp, aby boli schopní optimálne podporiť krízový manažment v mimoriadnych situáciách.

Jedným z riešení, ako preniesť definované pravidlá vizualizácie geopriestorových dát, je publikovať tieto mapy prostredníctvom QGIS MapServer-a, ktorý implementuje pokročilé kartografické charakteristiky ako sú špecifikované v špecifikáciách mapovej a diagramovej služby. Prostredníctvom QGIS MapServer-a (ktorý publikovanie zakladá na OGC službe WMS 1.3) môže byť obsah vektorových a rastrových zdrojov dát vizualizovaný podľa kartografických pravidiel špecifikovaných ako požadované parametre.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0443-07 a projektom VEGA č. 1/0894/10.

LITERATÚRA

- [1] Apel, D.H. - Thielen, A.H. - Merz, B. Bloschl, G. (2004) Flood Risk Assessment and Associated Uncertainty. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 4, pp. 295–308.
- [2] Bell, D. (2003) UML Basics: An Introduction to the Unified Modeling Language [online]. 2003. [cit. 2010-11-23]. Dostupné na internete: <<http://www.ibm.com/developerworks>>.
- [3] Cunge, J. A. (1975) Two-Dimensional Modelling of Floodplains, Unsteady Flow in Open Channels, Chapter 17, Water Resources Publications, Fort Collins, Co.
- [4] Cunge, J.A. - Holly, F.M. Jr. - Verwey, A. (1980) Practical Aspects of Computational River Hydraulics. Pitman, London.
- [5] Dale, P. F. – McLaughlin, J. D. (1988) Land Information Management – An Introduction with Special Reference to Cadastral Problems in Third World Countries. Oxford University Press, Oxford, 300 p.
- [6] Eberle, A. (2009) Visualisierung von Naturgefahren mit QGIS MapServer und OpenLayers-Bericht zur Bachelorarbeit. Zürich.
- [7] Hansen, W. - Vogtle, T. (1999) Extraktion der Gelandoberfläche aus flugzeuggetragenen Laser-Scanner-Aufnahmen. In: Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, s. 229–236.
- [8] Hjelm, J. (2002) Creating Location Services for the Wireless Web. Wiley, New York, 320 p.

- [9] Hubert, P. et al. (2000) Internationales Hydrologisches Glossar [online]. Brockhaus, Ecole des Mines de Paris. [cit. 2010-12-27] Dostupné na internete: <<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/aglo.htm>>.
- [10] Kunz, M. - Hurni, L. (2008) Hazard Maps in Switzerland. In Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop, 11-15 February 2008, Lenk, Switzerland.
- [11] Lienert, Ch. et al. (2010) Monitoring and Comparing: Cartographic Web Application for Real-Time Visualization of Hydrological Data. In: Konecny et al. (eds), Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management. Towards Better Solutions. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Berlin.
- [12] MacEachren, A. M. - Boscoe, F. P. - Haug, D. – Pickle, L. W. (1998) Geographic visualization: Designing manipulable maps for exploring temporally varying georeferenced statistics. In Proceedings IEEE Information Visualization Symposium, pages 87–94, North Carolina, USA, 1998.
- [13] Mandelburger G. (2006) Topographische Modelle für Anwendungen in Hydraulik und Hydrologie, Dissertationsschrift. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Oktober 2006.
- [14] Mounsey, H. – Tomlinson, R. F. (Eds). (1988) Building Databases for Global Science - Proceedings of the IGU Global Database Planning Project. Tylney Hall, Hampshire, UK, 9-13 May 1988, Taylor & Francis, London.
- [15] Novak, P. - Guinot, V. - Jeffrey, A. - Reeve, D. E. (2010) Hydraulic Modelling – an Introduction, Principles, methods and applications, Spon Press, Oxon.
- [16] Oberle, P. - Merkel, U. (2007) Urban Flood Management – Simulation Tools for Decision Makers, Advances in Urban Flood Management. Taylor & Francis Group, London, p. 91-122.
- [17] Simons, R. - Ramani Bai, V. - Ramadas, G. (2009) GIS technology in water resources parameter extraction in flood forecasting, Flood Risk Management: Research and Practice, Taylor & Francis Group, London.
- [18] Sklenář, P. - Zeman, E. - Špatka, J. - Tachecí, P. (2007) Flood Risk Management in Europe, Innovation in Policy and Practice. Springer, Netherlands, pp. 253-274.
- [19] Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2007/60/ES z 23. októbra 2007 o hodnotení a manažmente povodňových rizík.
- [20] Vogtle, T. Steinle, E. (2001) Erfahrungen mit Laser-Scanner-Daten zur automatisierten 3D-Modellierung von Gebäuden. In: Deutscher Verein für Vermessungswesen, Landesverein Baden-Württemberg, Mitteilungen, H. 2, 48 Jg.
- [21] Vyhláška č. 419/2010 Ministerstva pôdohospodárstva, životného prostredia a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky z 13. októbra 2010, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o vyhotovovaní máp povodňového ohrozenia a máp povodňového rizika, o uhrádzaní výdavkov na ich vypracovanie, prehodnocovanie a aktualizáciu a o navrhovaní a zobrazovaní rozsahu inundačného územia na mapách.
- [22] Zákon č.7/2010 o ochrane pred povodňami.