

Jan DAÑHELKA

HYDROLOGICKÁ DATA V MAPOVÉ TVORBĚ – AKTUÁLNÍ VYUŽITÍ PROSTŘEDKŮ GIS V OPERATIVNÍ HYDROLOGII V ČESKÉ REPUBLICE

Daňhelka, J.: Hydrological data in cartography – state of the art of GIS use in operational hydrology in the Czech Republic. Kartografické listy 2008, 16, 5 figs., 8 refs.

Abstract: Paper presents a short overview of current state of cartographic methods use in presentation of hydrological data in the Czech Republic. Due to new EU directive on assessment and management of flood risk implementation process a review of flood maps will take place in becoming years. The main aim of the paper is to present use of GIS techniques in real-time hydrological modeling in the Czech Republic. Newly developed software AquaBase 6.0 is introduced as a tool for spatial management of input data in real-time flood forecasting in the Czech Republic.

Keywords: hydrological modeling, GIS, flood mapping, Czech Republic

Úvod

Cílem příspěvku je stručný přehled aktuálního využití mapových děl pro prezentaci hydrologických dat a využití prostředků geografických informačních systémů (GIS) v hydrologii a vodním hospodářství v ČR. Vzhledem k velké šíři hydrologie jako oboru a současnému rozsáhlému uplatnění GIS půjde o přehled velmi omezený a neúplný. Pozornost bude věnována také problematice nově vydané evropské směrnice o zvládnání povodňových rizik a využití prostředků GIS v operativní hydrologii. Podrobněji se budeme věnovat vytvořenému softwarovému prostředku AquaBase 6.0 pro prostorovou analýzu a editaci dat potřebných pro provoz hydrologických předpovědních systémů provozovaných Českým hydrologickým ústavem (ČHMÚ). Využití kartografických a prostředků GIS v hydrologii lze v zásadě rozdělit na oblast prezentace dat v mapové podobě, na oblast zpracování hydrometeorologických dat a modelování hydrologických jevů a procesů.

Prezentace hydrologických a hydrografických dat

Rozsah veřejně prezentovaných hydrologických a vodohospodářských dat upravuje v ČR Zákon o vodách (254/2001 Sb.) a navazující legislativní předpisy. V souladu s nimi je jednou ze součástí informačního systému veřejné správy (ISVS) také hydroekologický informační systém (HEIS) a vodohospodářský informační portál (<http://www.voda.gov.cz>) provozovaný společně Ministerstvem zemědělství ČR a Ministerstvem životního prostředí ČR. Vodohospodářský portál byl vytvořen jako společný rozcestník na jednotlivé části HEIS, které jsou spravovány rozdílnými organizacemi – Výzkumným ústavem vodohospodářským T.G. Masaryka (VÚV), Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), státními podniky Povodí a Zemědělskou vodohospodářskou správou (ZVHS). Většina mapových výstupů je prezentována a spravována VÚV (<http://heis.vuv.cz>). K dispozici jsou například: vymezení hydrogeologických rajonů, vodních útvarů a jejich stav, ochranná pásma vodních zdrojů, zranitelné oblasti, záplavová území, ale například i výstupy projektu vyhodnocení povodně 1997 a mnoho dalších. ČHMÚ v rámci ISVS prezentuje především údaje o jakosti povrchových a podzemních vod (<http://hydro.chmi.cz/ojv2>).

Prezentace mapových výstupů je v případě obou institucí založena na systému WEBMAP (Webmap 2008), který umožňuje individuální nastavení zobrazení ve speciálním uživatelském prostředí respektujícím logiku a zvyklosti klasického GIS. Funkce umožňují zobrazování a editaci

zobrazení jednotlivých vrstev, vytvoření výřezu, měření vzdáleností, či výpis informací o vrstvách. Propojení s databází dat pak umožňuje v některých případech přístup k datům například o hodnotách pozorovaných ukazatelů jakosti vody aj. ČHMÚ systém Webmap využívá rovněž pro tvorbu mapových výstupů prezentovaných na internetových stránkách hlášené a předpovědní povodňové služby ČHMÚ, kde jsou publikovány operativní informace o pozorovaných a předpovídaných vodních stavech a průtocích (<http://hydro.chmi.cz/hpps>).

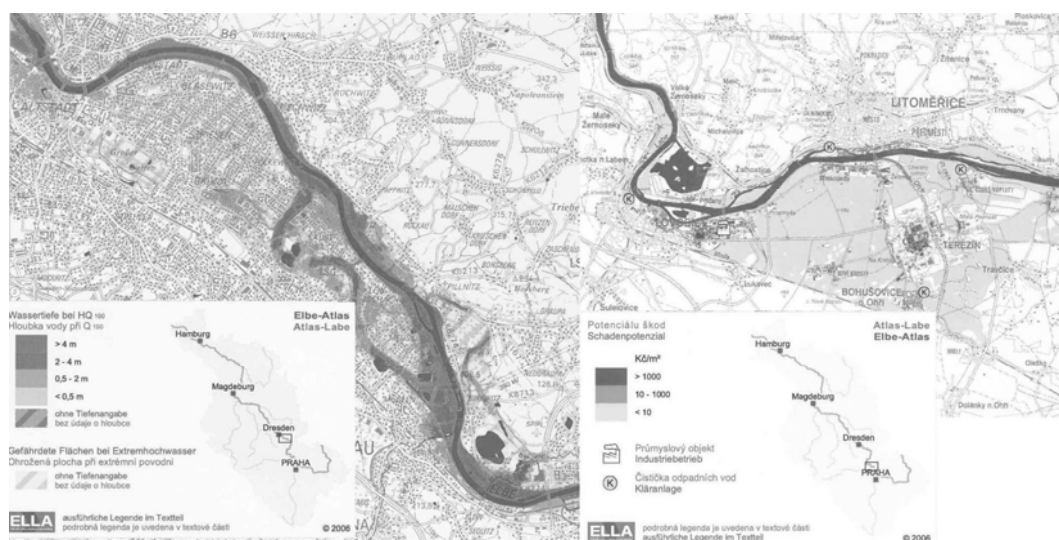
Mapování rizika povodní

Speciální aplikací mapování v hydrologii je vymezení záplavových území. To je možné několika způsoby, buď terénním mapováním a následnou digitalizací, automatickými procedurami v rámci GIS (například analýzou DTM a rozsahu nivních půd), nebo hydraulickým modelováním rozlivů a následným zobrazením výsledků v mapě.

V říjnu roku 2007 byla přijata směrnice Evropského parlamentu a rady 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik. Podstatou směrnice je v prvním kroku vyhodnocení povodňových rizik (do roku 2011) vytvoření map povodňového nebezpečí a rizika (do 2013) a následně vytvoření plánů pro zvládnutí povodňového rizika (do 2015) na základě předchozích kroků. Mapování záplavových území přitom nově zavádí, kromě dosud u nás používaných 20leté a 100leté povodně, tzv. extrémní povodeň, pro niž dosud nebyla stanovena jednoznačná metodika mapování, a lze předpokládat její odlišnost v jednotlivých členských zemích. Směrnice se neomezuje jen na říční nivy, ale umožňuje rovněž mapování nebezpečí vzniku přívalových povodní z bouřkových srážek. V tomto případě bude mapování nezbytné provádět automatickými procedurami analýzy terénu a odtokových drah povrchového odtoku v GIS.

Implementační procesy nové směrnice bude v následujících letech přinášet řadu workshopů a konferencí s tématem povodňového mapování, ale také například územního plánování s cílem ovlivnění odtoku a povodňového nebezpečí. Vzhledem k velkému rozsahu nezbytných prací lze předpokládat širší zapojení univerzitních pracovišť i soukromých firem do tvorby nezbytných podkladů. Příkladem již realizované úspěšné mezinárodní spolupráce v oblasti mapování povodňových rizik je projekt ELLA provedený v rámci akčního plánu protipovodňové ochrany Mezinárodní komise pro ochranu Labe (MKOL) zpracovaný Českou republikou a Německem.

Výstupem projektu je především Atlas Labe (2006) obsahující jednotně vytvořené mapy záplavových území a potenciálních škod podél celého toku Labe od pramenné oblasti až po ústí do Severního moře (obr. 1).



Obr. 1 Ukázka map záplavových území a potenciálních škod z Atlasu Labe (2006)

Využití GIS v hydrologickém modelování

Hydrologickým modelováním rozumíme většinou matematické nebo statistické odvození velikosti jedné, či celého komplexu složek, procesů či příčinných faktorů působících v rámci hydrologického cyklu, a to pomocí speciálních prostředků (statistických či fyzikálně založených modelů). V rámci této široké definice lze za modelování považovat například také výpočet předchozí nasycenosti povodí (antecedent precipitation index – API), výpočet odtokové výšky a odtokového poměru. Rozvoj GIS aplikací umožnil provádět uvedené bilanční výpočty nikoliv jen v konkrétních bodech meteorologických či hydrologických stanic, ale i distribuované v ploše. Příkladem je vyhodnocení uvedených a dalších ukazatelů v publikacích vyhodnocení povodňových událostí z let 1997, 2002 a 2006 (např. ČHMÚ 2004, 2006).

Některé hydrologické modelovací aplikace jsou pak na GIS přímo založeny. Jde jednak o skupinu hydraulických modelů (zejména 2D modely) pracujících přímo v prostředí digitálního modelu terénu s přesnou lokalizací překážek proudění, jako jsou mosty, jezy aj. Asi nejznámějším zástupcem 2D hydraulických modelů je MIKE21 vyvinutý Dánským hydrologickým institutem (DHI). Druhou skupinu srážko-odtokových modelů lze z hlediska využití GIS rozdělit na modely distribuované pracující v gridu opět s využitím DMT a dalších vrstev opisujících zejména hydrologické charakteristiky půdního a vegetačního pokryvu a ostatní modely operující v měřítku povodí.

Z modelů, operujících přímo v prostředí GIS, lze jmenovat na platformě ESRI extenze HEC-GeoHMS, či MIKE BASIN, v prostředí GRASS pak za zmínku stojí model TOPMODEL, SIMWE a AGNPS. Více informací lze nalézt v práci Adamec a kol. (2007). Řada dalších modelů využívá prostředí GIS pro odvození parametrů srážko-odtokových vztahů pro modelovaná povodí. Jeden z nejčastěji používaných modelů je model SAC-SMA definující odtok na základě rozdělení půdy do systému vzájemně komunikujících nádrží transformujících srážky na odtok v závěrovém profilu povodí (Daňhelka 2007). Počáteční odhad parametrů modelu může být založen na GIS analýze vrstev vybraných půdních charakteristik. Příklad odvození hodnoty parametru UZTWM, který definuje velikost (v mm) jedné z půdních nádrží modelu, je uveden v následující rovnici (1).

$$UZTWM = (\Theta_{fld} - \Theta_{wlt}) Z_{up} \quad ; \quad Z_{up} = 50.8 \frac{\frac{1000}{CN} - 10}{\Theta_{max} - \Theta_{fld}} \quad (1)$$

kde CN je hodnota Curve Number (jedna z hydrologických charakteristik půdy), θ_{max} je porosita, θ_{fld} je půdní vodní kapacita a θ_{wlt} je bod vadnutí.

Využití metod GIS v operativních hydrologických modelech v ČHMÚ

Kromě výše zmíněného postupu při odvození parametrů operativně používaného modelu SAC-SMA byl nově upraven software AquaBase firmy AquaLogic Cons., který je používán pro přípravu vstupních dat do hydrologického modelování (srážky, teplota vzduchu, průtoky aj.). Cílem úpravy byl přechod k plošnému zpracování dat ve formě pravidelného gridu s rozlišením 1 km.

Hydrologický předpovědní systém AquaLog používaný v ČHMÚ pro předpovědi v povodí Labe, obsahující srážko-odtokový model SAC-SMA i hydrologický předpovědní systém HYDROG používaný v povodí Odry a Moravy, operují v měřítku jednotlivých malých povodí pro něž je počítán odtok. Srážky a teplota vzduchu do výpočtu vstupují ve formě plošného průměru pro jednotlivá povodí, který byl dosud vypočítáván metodou Thiessenových polygonů.

Při tvorbě nové verze AquaBase byl stanoven požadavek využití vhodnějších metod interpolace srážek a teploty z bodových měření do plochy současně s nezbytnou robustností, spolehlivostí a rychlostí provozu takových metod v operativě a možnost snadné editace vstupů. AquaBase 6.0 tak nyní umožňuje použití následujících metod plošné interpolace vstupů:

- **IDW** je klasická metoda inverse distance weighted umožňující uživatelské omezení uvažovaných nejbližších stanic jejich počtem, nebo maximální limitní vzdáleností. Uživatelsky volitelný je rovněž exponent vlivu vzdálenosti β .

$$P_x = \sum_{j=1}^n W_j P_j \quad ; \quad W_j = \frac{\frac{1}{d_j^\beta}}{\frac{1}{d_1^\beta} + \frac{1}{d_2^\beta} + \dots + \frac{1}{d_n^\beta}} \quad (2)$$

kde P_j je úhrn ve vybrané okolní srážkoměrné stanici, W_j je její váha, d je vzdálenost jednotlivých uvažovaných stanic od cílového bodu X a β je exponent vlivu vzdálenosti

- **IDW-kvadrant** je modifikací klasické metody IDW, kdy je výběr okolních stanic omezen pouze na nejbližší stanice v jednotlivých kvadrantech s možností omezení limitní vzdálenosti a uživatelsky volitelným exponentem vlivu vzdálenosti β .
- **Krigging** je interpolace aplikací klasického kriggingu s možností uživatelského nastavení parametrů.
- **Co-krigging** je interpolace aplikací co-kriggingu s možností uživatelského nastavení parametrů
- **IDW+TELV** je modifikace metody IDW pro výpočet teploty vzduchu, kdy je její hodnota interpolována na základě zohlednění nadmořské výšky prostřednictvím uživatelsky zadaného vertikálního teplotního gradientu ($\Delta T/100m$).

$$T_x = \sum_{j=1}^n W_j T_j + W_j W E_j \quad ; \quad W E_j = (Elev_j - Elev_x) T_{vg} \quad (3)$$

kde $W E_j$ je vertikální korekce teploty, $Elev$ je nadmořská výška a T_{vg} je zadaný vertikální teplotní gradient.

- **Pseudo-gauge implementation** je aplikace, která umožňuje definování trvalé, či dočasné „pseudo-stanice“. Jde o zvolení bodu, pro nějž sice neexistují přímo pozorovaná vstupní data, ale dá se použít jednoduchá korelační závislost vzhledem k okolním stanicím, nebo přímo hodnota srážky (teploty). Pseudo-gauge může být využita v případech velké variability srážkového pole, která není podchycena srážkoměrnou sítí (například výskyt bouřky), kdy hydrolog manuálně podle radarových podkladů definuje pozici a úhrn pseudo-gauge. Druhou možností je definování pseudo-gauge v horském terénu, kde srážkoměry nejsou umístěny ve vrcholových partiích a kde se vyskytují vyšší srážky než naměřené v údolích. V takovém případě je pro pseudo-gauge možno definovat koeficienty pro přenásobení úhrnů z okolních stanic pro jednotlivé měsíce (obr. 3).

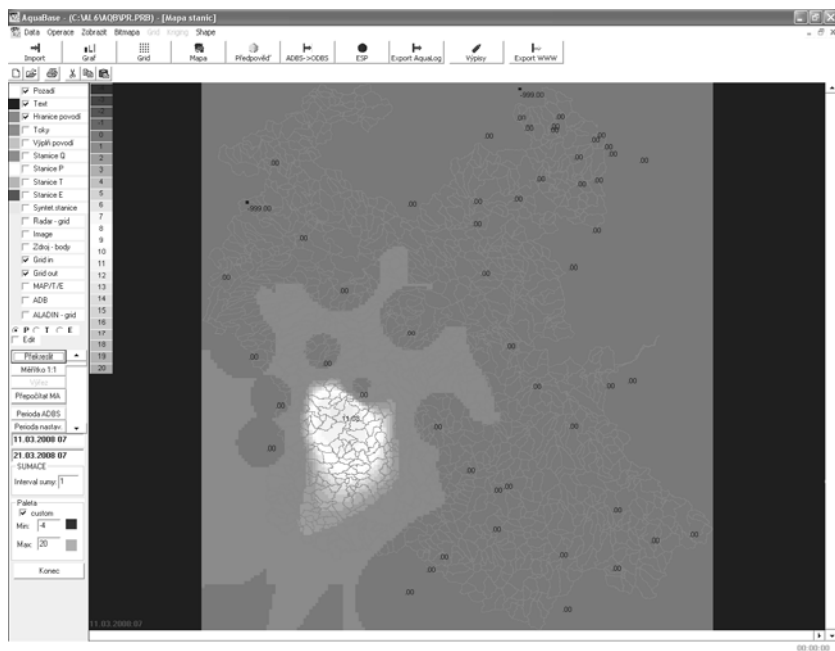
Vytvořené grafické prostředí v AquaBase 6.0 umožňuje snadnou uživatelskou změnu hodnot vstupních dat v jednotlivých stanicích, definování pseudo-gauge, zobrazování různých datových vrstev a jednoduchou editaci jejich zobrazení, zhotovování výřezů, pohyb mezi jednotlivými časovými kroky v analýze dat či vytváření libovolně dlouhých sumací (obr. 2 až 5). Pro zajištění rychlosti a robustnosti výpočtu byla provedena indexace jednotlivých vrstev v popisných textových souborech, které přiřazují gridy jednotlivým dílčím povodím, definují pozici stanic atd. Zobrazené geografické vrstvy jsou aplikací klasického formátu *.shp s transformací do textového *.asc definujícími polohu v účelově založeném systému souřadnic (obr. 6).

Závěr

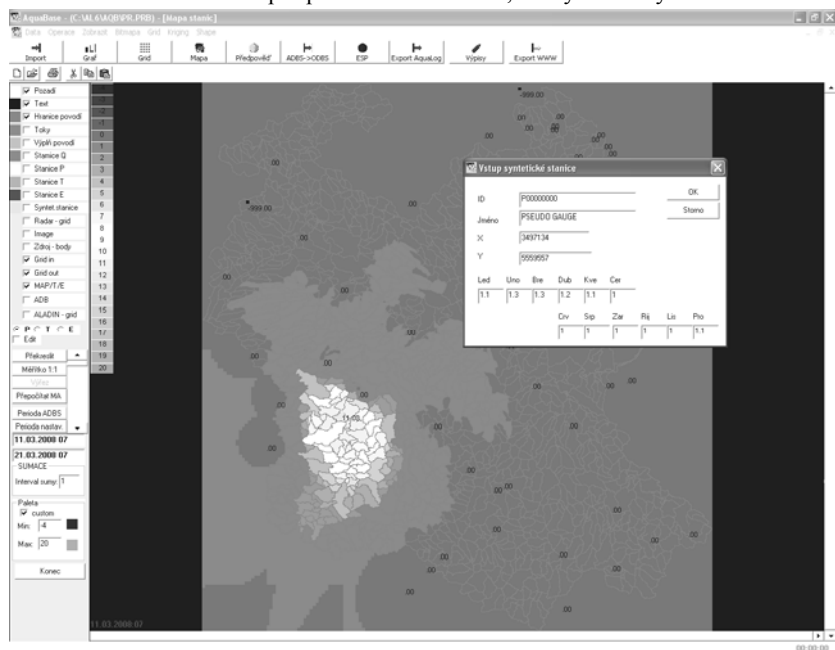
Využití mapových výstupů v hydrologii je dlouhodobě rutinní záležitostí a objem dat, veřejně prezentovaných touto formou, neustále roste, čemuž jsou podřizovány i nároky na programové řešení. V České republice je v rámci informačního systému veřejné zprávy široce využíván internetový prezentační systém Webmap pro prezentaci rozličných hydrologických dat.

V následujících letech lze předpokládat další rozvoj vyhodnocování a zvládání povodňových rizik v souvislosti s nároky nové evropské směrnice. Použití prostředků GIS v hydrologickém modelování se postupně rozšiřuje i do operativních předpovědních systémů, které kladou vysoké nároky na robustnost a rychlost výpočetních metod. Český hydrometeorologický ústav upravil program AquaBase pro zpracování vstupních dat na provoz hydrologických předpovědních systémů tak, aby umožňoval operace a vizualizaci dat v ploše. To umožňuje hydrologům přesnější a snadnější kontrolu vstupních dat a jejich editaci pro dosažení co nejlepších výsledků hydrologických předpovědí.

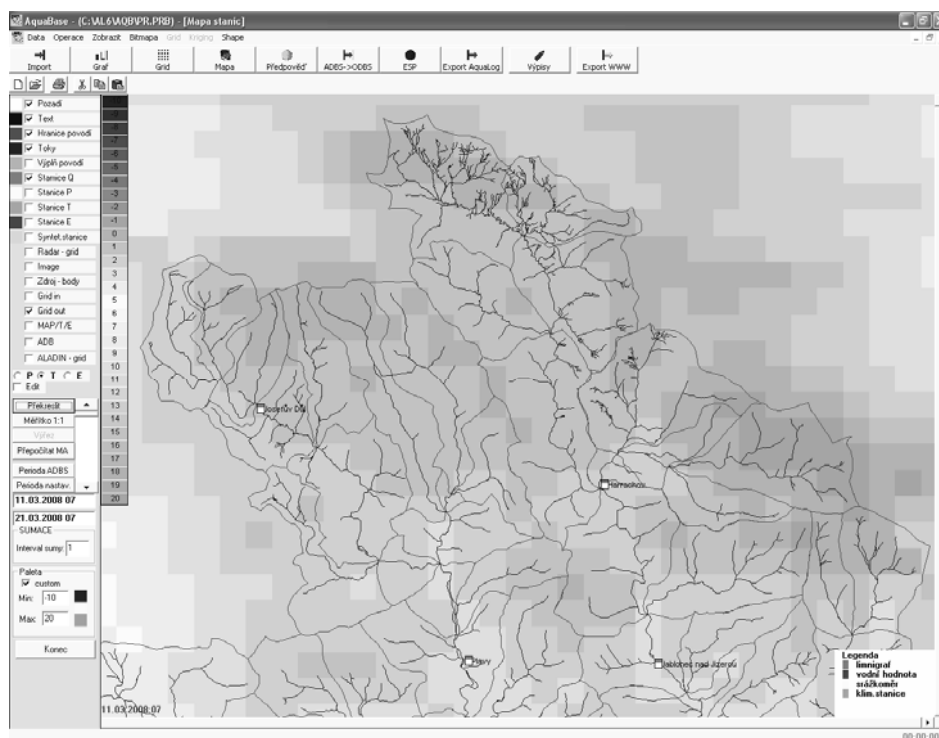
Príspevek je součástí výstupů projektu GA ČR 205/06/0965 „Vizualizace, interpretace a percepce prostorových informací v tematických mapách.“



Obr.2 Ukázka programu AquaBase s ukázkou interpolace srážek do gridu metodou IDW-kvadrant pro povodí dolního Labe, Jizery a Sázavy



Obr. 3 Přepoččet gridu na průměrné hodnoty dílčího povodí pro hydrologický model a editační okno na definici pozice a korelačních závislostí pseudo-stanice



Obr. 4 Ukázka interpolace teploty vzduchu s použitím vertikálního teplotního gradientu na příkladě výřezu horní části povodí Jizery v oblasti Jizerských hor. Pro vyšší nadmořské výšky je v souladu s realitou vypočtena nižší teplota vzduchu než ta z meteorologických stanic

	col					
row	1001	1002	1003	1004	1005	...
2001	2002	2003	2004	...		
3001	3002	3003	...			
4001	4002	...				456520
5001	...					457519 457520
...						458518 458519 458520
						459517 459518 459519 459520
						460516 460517 460518 460519 460520
						row

Obr. 5 Definice účelového systému souřadnic AquaBase 6.0 pro ČR (460 řádků a 520 sloupců)

Literatura

- ADAMEC, M., HANZLOVÁ, M., HORÁK, J., UNUCKA, J., ŽÍDEK, D. (2007). Modelování hydrologických extrémů s podporou DPZ a GIS, in: Langhammer J., (ed.) *Změny v krajině a povodňové riziko*, sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. Praha (PřF UK), Praha, s. 51-61.
- Atlas Labe*. (2006). Dresden, Německo (ELLA, LfUG Sachsen). 9 str.
- ČHMÚ. (2004). *Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 – 2. etapa (aktualizace podle výsledků 3. etapy) – Hydrologické vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002*. Praha (ČHMÚ), 146 str.
- ČHMÚ. (2006). *Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území České republiky*. Praha (ČHMÚ). 328 str.
- DAÑHELKA, J. (2007). *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědi*. Praha (ČHMÚ). 104 str.
- Směrnice o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik*. (2007). 2007/60/ES. Úřední věstník Evropské Unie, s. 288/27-288/34.
- Webmap*. (2008). Praha (Hydrosoft). http://www.hydrosoft.eu/html/prg/wm_popis.shtml.
- Zákon o vodách*. (2001). č. 254/2001 Sb. Česká republika.

S u m m a r y

Hydrological data in cartography – state of the art of GIS use in hydrology in the Czech Republic

Publishing of hydrological data is a part of public administration information system of the Czech Republic known as Hydro-ecological information system (HEIS). HEIS databases are distributed among institutions responsible of its managing especially Water Research Institute and Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). Both institutions operate Webmap internet presentation using standard GIS procedures for visualization of different data layers. Most of published data are available at <http://heis.vuv.cz> (inundation areas, evaluation according to Water framework directive etc.). Water quality data are published at <http://hydro.chmi.cz/ojv2> where a direct connection from Webmap to original datasets was set up.

There is an increasing will of coordinated data publishing on the European level in the field of hydrology and water management. In near future, EU directive on assessment and managing of the flood risk will bring the need of existing flood risk maps review. However some examples of international cooperation on flood mapping already exist. ELLA project output - the Atlas of Elbe - presenting maps of flood extent and potential damage (see fig. 1) could be named as example. Presented maps were made using the same methodology for Czech and German part of the Elbe river stream.

Hydrological modeling uses GIS in different ways. There are hydrological models set up directly in GIS environment such as ESRI extensions (e.g. HEC-GeoHMS, MIKE BASIN) or GRASS models (TOP-MODEL, SIMWE). Some procedures of GIS use for model initial parameters estimation were developed for other hydrological models inc. SAC-SMA.

Hydrological forecasting system AquaLog (Elbe river basin) and HYDROG (Odra and Morava river basin) are used for real-time flood forecasting in CHMI. Both systems use rainfall-runoff modeling (SAC-SMA is implemented in AquaLog) on the basin scale. Input data are prepared by special software AquaBase, which new version (AquaBase 6.0) has moved from simple Thiessen polygons used for mean areal precipitation (temperature) computation to more sophisticated methods of precipitation and temperature spatial interpolation techniques:

- **IDW** (Inverse distance squared) enabling user definition of number of used gauges or diameter of the area as well as weight exponent setting (see eq.2 where P is precipitation, W is weight, d is distance, β is weight exponent).
- **IDW-quadrant** limiting the used neighboring gauges to maximally one from each quadrant with possibilities of same user settings as for IDW.
- **Krigging** enabling some user setting of parameters.
- **Co-krigging** enabling some user setting of parameters.
- **IDW+TELV** is IDW method used for temperature interpolation including user defined vertical temperature index (see eq.3 where WE is elevation weight, Elev is elevation and T_{vg} defined vertical temperature gradient in $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).
- **Pseudo-gauge implementation** defines a virtual gauge with coefficients for multiplying the observed values of neighboring gauges based on historical correlation in monthly scale or direct input of value for the location.

AquaBase 6.0 GUI (see fig. 2 to 4) enables hydrologist to get a quick overview on spatial distribution of precipitation and air temperature in different time steps and time aggregations. It also provides a platform for easy editing of input data and MAP computation for operational hydrological modeling.

Because of need of the robust and fast computation methods AquaBase use definition files attributing grid cells to particular basins. Special *.asc files using own coordinate system (fig. 5) are converted by AquaBase from common ESRI shapefiles. AquaBase 6.0 is a power full tool for data preparation for operational hydrological modeling enabling easier data visualization, control and editing.

Fig. 1 Example of flood extent map and potential damage map of Elbe atlas (Atlas Labe 2006).

Fig. 2 AquaBase IGU program showing IWD-quadrant precipitation interpolation for Jizera river, Sázava river and lower Elbe river basin.

Fig. 3 Values of mean areal precipitation (MAP) for defined basis computed from the grid to input hydrological model and editing window for definition of pseudo-gauge.

Fig. 4 Air temperature interpolation using vertical temperature gradient; zoom of Jizerské Mts.

Fig. 5 System of coordinates used in AquaBase 6.0 environment for the whole area of the Czech Republic.

Lektoroval:

Doc. RNDr. Jaromír KAŇOK, CSc.,

Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Olomouc, Česká republika