

Selected Issues of Geodata Uncertainty visualization

Kartografická vizualizace nejistoty v geografických datech

Petr KUBÍČEK

Masarykova univerzita, kubicek@geogr.muni.cz

Abstract

The paper introduces the uncertainty sources, measures and visualization methods within geographic data. Basic theoretical and conceptual assumptions for uncertainty visualization are described. Uncertainty visualization methods based on intrinsic visual variables are discussed in more detail taking into account the Bertin's theory of cartographic communication. Uncertainty issues in natural hazards and emergency management is further depicted and contextual cartographic visualization proposed as a viable method for efficient uncertainty visualization.

Keywords: uncertainty, visualization, typology, natural hazards.

Klíčová slova: nejistota, vizualizace, typologie, přírodní hazardy.

Úvod

Nejistota je jedním z potenciálně kritických faktorů v kartografické vizualizaci geografických (prostorových) dat. Je tomu zejména díky sklonu většiny uživatelů považovat počítače a mapy jimi vytvořené za více hodnověrné, než osoby činící rozhodnutí založené na těchto mapách. Přitom při použití geografických informačních systémů (GIS) pro sběr, analýzu a vizualizaci geografických informací je vysoká šance, že vzniknou nehodnověrná data či data s proměnlivou kvalitou, a to zejména proto, že dochází ke spojování a kombinaci více datových zdrojů. V důsledku velkého počtu možností, jak nakládat s daty v rámci GIS mohou výsledné kartografické vizualizace, jak uvádí MacEachren (1992) zahrnovat řadu prvků nejistoty.

Problematickou zavedení nejistoty do geografických dat a její následné vizualizace se ve světě zabývá řada autorů (Burrough a Frank 1996, Zhang a Goodchild 2002, Pang 2001, MacEachren a kol. 2005). Celou oblast vizualizace nejistoty lze rozdělit do několika oblastí od teoretického konceptu nejistoty v geografických datech, přes nástroje vizualizace, až po systém hodnocení efektivity vizualizace na uživatele (obr.1).

Příspěvek se zabývá především popisem současného stavu a konceptuálního přístupu k vizualizaci nejistoty a diskutuje možnost využití nejistoty v případě vizualizace přírodních hazardů.

Co je to nejistota?

Výraz „nejistota“ je obecně používán v literatuře (Slocum a kol. 2005) k popsání potenciálních variací (změn) v hodnotách atributů a prostorového umístění, je také často používán termín kvalita a spolehlivost. Slocum a kol. (2005) považuje kartografickou nejistotu za synonymum s nespolehlivostí (unreliability) a špatnou

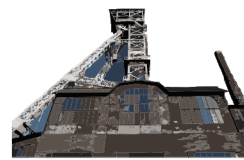
kvalitou (poor quality). Tento terminologický přístup není jednotný a v praxi se lze setkat s alternativními výklady. Thomson a kol.(2005) uvádí mimo jiné i širší definici nejistoty jako „přítomnost určité nedokonalosti ve znalosti uživatele o datové sadě, procesu nebo výsledku“.



Obr. 1: Jednotlivé tematické oblasti vizualizace nejistoty

Řada odlišných definic nejistoty má za následek více pokusů o formalizaci a typologii pro odlišně vnímané typy nejistoty (viz dále). Z toho plyne také řada přístupů a pokusů vytvořit základní komponenty nejistoty informací a závislost těchto komponent na vizualizaci informací a jejich nejistoty. Pokusy probíhaly nezávisle na sobě a prakticky bez vzájemné provázanosti především na poli geografické vizualizace (geovizualizace GViz) a vědecké vizualizace informací (InfoViz) (Thomson a kol. 2005).

Zejména pojem kvalita je třeba používat s velkou obezřetností, protože je v řadě případů s nejistotou zaměňován a má vztah k celé škále datových

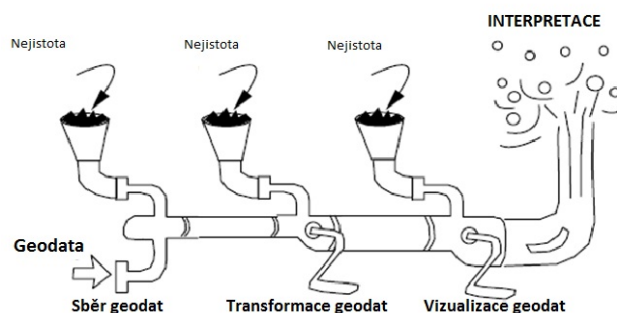


charakteristik. V rámci standardů ISO 19113 (Geografická informace - Zásady jakosti) je jmenováno 5 kategorií pro hodnocení kvality (jakosti) dat:

- úplnost geografických dat (completeness) určující sadu pravidel pro vytvoření mapy (výběrová pravidla pro vypuštění či začlenění prvku do mapy, minimální velikost prvků).
- logická bezespornost (logical consistency) popisující kvalitu prostorových vztahů zakódovaných v datové struktuře (například topologická správnost).
- polohová přesnost (positional accuracy) určující horizontální a vertikální přesnost souřadnic geografických prvků.
- časová přesnost (temporal accuracy) popisující datum poslední aktualizace, časovou platnost dat a případně interval, ve kterém jsou data doplňována.
- tematická přesnost (attribute accuracy) popisující přesnost popisných atributů v určité lokalitě vzhledem k realitě.

Hlavní pozornost v rámci kartografické vizualizace nejistoty byla doposud věnována především kategoriím polohová přesnost a tematická přesnost.

Zdroje nejistoty v geografických datech



Obr. 2: Zdroje nejistoty geografických dat

Zdroj: upraveno podle Pang 2008

Pang (2008) rozlišuje nejistotu v jednotlivých stádiích zpracování dat od jejich sběru (získávání), přes transformaci, vizualizaci a interpretaci dat:

- Nejistota při sběru - sběr probíhá prostřednictvím měření, pozorování i pomocí numerických simulací. Všechny metody jsou potenciálním zdrojem nejistoty v rozličných formách - špatná kalibrace přístroje, šumy v datech, chybějící záznamy, zjednodušení použitého modelu a další.
- Nejistota při transformaci - měřená data nejsou obvykle vizualizována přímo, ale prochází procesem transformace, a to často bez vědomí osoby, která je zodpovědná za jejich následnou vizualizaci. Data mohou být například transformována z jedné měrné jednotky do druhé, nebo mohou zahrnovat určitý algoritmus pro fúzování dat s různých zdrojů s cílem

získat novou kvalitu. Klíčovým faktem je, že uvedené transformace skutečně původní data mění a mají potenciál vnášet do celého cyklu systematickou nejistotu.

- Nejistota při vizualizaci - je zajímavé, že nejistota je vnášena do samotného procesu vizualizace. Jmenujme například interpolační metody, které zavádějí do procesu vizualizace nejistotu mimo samotné měřené body, či využití animace pro vizualizaci časových řad, kde data zobrazovaná mezi jednotlivými měřeními hodnotami jsou pouze přibližná.

Ze srovnání výše uvedených zdrojů nejistoty v procesu vizualizace s různými koncepty nejistoty lze vyvodit, že zatímco část nejistoty vzniká na počátku cyklu při sběru dat, další formy nejistoty mohou být zavedeny do cyklu vizualizace v následných stádiích (transformace, vizualizace samotná).

Obecné kartografické metody vizualizace nejistoty

MacEachren (1992) byl jedním z prvních, kdo se zabýval systematicky možnostmi kartografické vizualizace nejistoty a navrhnul 3 základní metody finální prezentace:

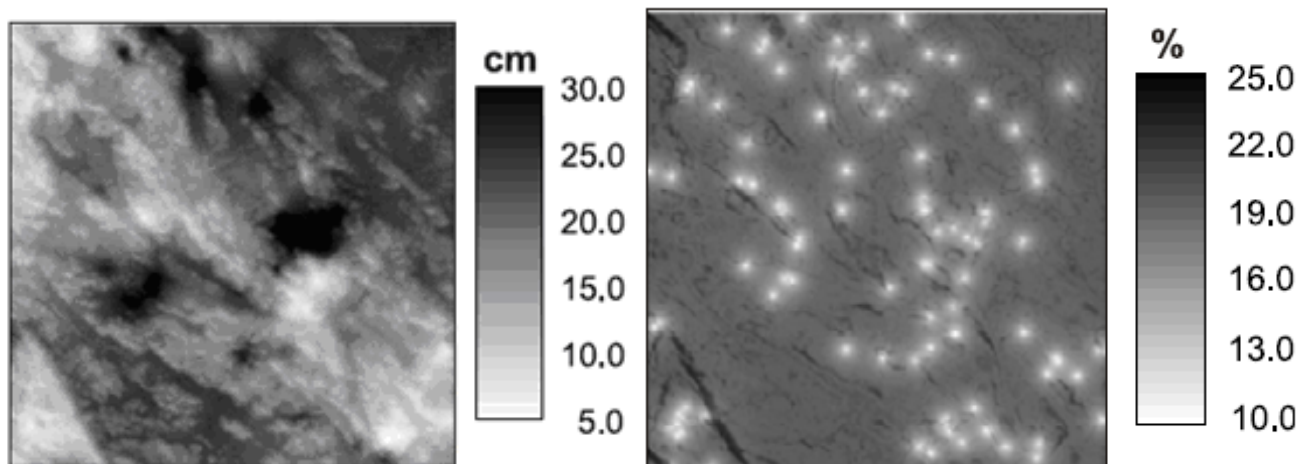
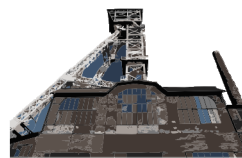
- Srovnávací mapy (maps compared) - jak pro zvolený atribut, tak pro vyjádření jeho nejistoty jsou vytvořeny samostatné mapy.
- Kombinované mapy (maps combined) - jak zvolený atribut, tak jeho nejistota jsou znázorněny na jedné mapě za využití vhodných grafických proměnných (viz dále). Jedná se vlastně o bivariační mapy využívající kombinace dvou proměnných.
- Využití interaktivního exploračního nástroje, který umožní snadnou manipulaci způsobů vizualizace jak pro atribut, tak pro jeho nejistotu. V originále autor navrhuje využití interaktivní sekvence, kde se budou střídát vizualizace atributu a jeho nejistoty.

Grafické proměnné pro vizualizaci nejistoty

Pokud bereme do úvahy kombinované mapy (viz výše), pak se grafické proměnné pro vizualizaci nejistoty podle Gershona (1998) rozpadají do dvou velkých skupin na:

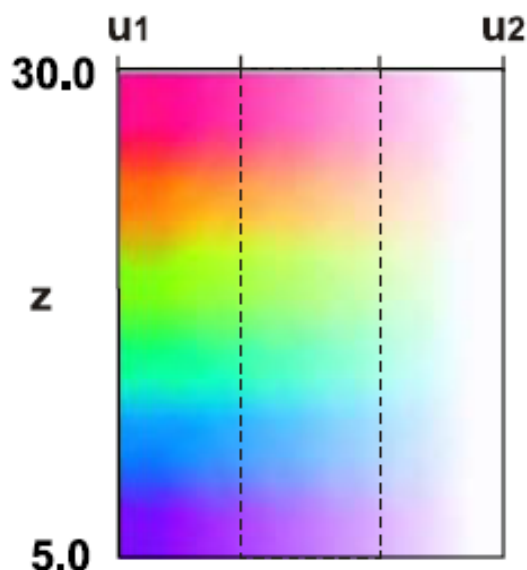
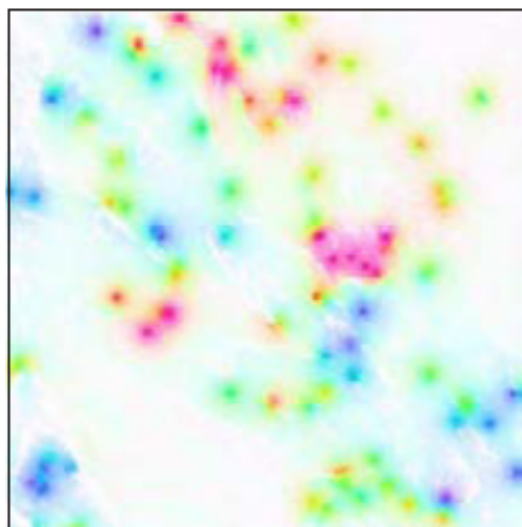
- Vnitřní (intrinsic) grafické proměnné mění svoji hodnotu v souvislosti s měnící se nejistotou - například intenzita barvy (colour saturation).
- Vnější (extrinsic) grafické proměnné znamenají, že k standardnímu kartografickému vyjádření jsou přidány další objekty, jako jsou šipky, sloupcové grafy a další objekty různých tvarů.

Z analýzy literatury je zřejmé, že většina volených přístupů spadá do kategorie vnitřních grafických proměnných (Slocum et al. 2005).



Obr. 3: Srovnávací mapy - nalevo hloubka půdy interpolovaná z půdních sond metodou krigingu, napravo míra nejistoty

Zdroj: upraveno podle Hengel 2004



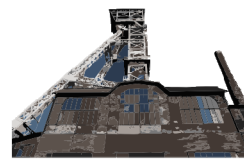
Obr. 4: Kombinovaná mapy hloubky půdy a nejistoty vizualizovaná pomocí metody zesvětlení – whitening (vlevo) a odpovídající legenda (vpravo)

Zdroj: (upraveno podle Hengel 2004).

Přístupy založené na vnitřních grafických proměnných

Jedním z možných konceptů vizualizace nejistoty je využití základních grafických proměnných podle Bertina (1973). Bertinův přístup je obecně přijímán (Slocum et al. 2005, Drápela 1983, Kaňok 1999, Pravda 1997, Voženílek 1999) jako systém, který logicky přenáší informaci do grafického vyjádření a jeho jednotlivé proměnné (umístění, velikost, intenzita, struktura-dezén, barva, orientace a tvar) jsou základními grafickými jednotkami, jejichž pomocí lze vytvořit nejenom základní mapu, ale také tematickou mapu nejistoty. Je třeba si položit otázku, jak jednotlivé grafické proměnné

(s možnými doplňky a modifikacemi) lze logicky provázat s různými druhy datové nejistoty. Vhodnost využití jednotlivých proměnných navrhnul a utřídil MacEachren (1992) a zároveň upozornil na možná úskalí při nesprávném použití grafické proměnné. Hlavní rozdíl tkví zejména v logické asociaci odpovídajících grafických proměnných s odpovídající ordinárním/kvantitativním a nominálním/kvalitativním typem vizualizovaných datových proměnných. Velikost a intenzita jsou nejvhodnější pro vizualizaci nejistoty kvantitativních proměnných. Na druhé straně barva, tvar a částečně orientace je využitelná pro nejistotu v kvalitativních proměnných. Textura, navzdory tomu, že ji lze kvantifikovat, je nejvhodnější pro binární



klasifikaci „jistý“ versus „nejistý“, již lze použít pro ve zvláštních případech pro oba typy dat.

MacEachren (1992) doporučoval zejména intenzitu barvy (saturation) jako ideální pro vyjádření míry nejistoty, a to zejména jako „intenzivní barvy pro velmi jistou informaci a méně intenzivní (syté) pro nejistou informaci“. Alternativně dále navrhnul dokonce další grafickou proměnnou s názvem zaostření (focus), kterou lze dělit na 3 alternativy – ostrost hranic (contour crispness), rozlišení (resolution) a průhlednost (fog transparency).

Ostrost má vztah ke způsobu vymezení hranic datového prvku – zatímco ostré hranice vymezují jistá data, neostře přechody signalizují nejistá data. Rozlišení se vztahuje k úrovni detailu prostorových dat s daným atributem – s úrovní nejistoty klesá prostorové rozlišení (velikost gridu) rastrové databáze. Průhlednost znamená, jak snadno jsou daná data viditelná přes vrstvu „mlhy“ umístěné jako krycí vrstva. Čím je vyšší nejistota, tím je krycí vrstva hustší a méně průhledná.

Vizualizace nejistoty pro přírodní hazardy

Krizové události, mezi které přírodní hazardy patří, jsou typem událostí, kde prostor a čas hrají rozhodující roli. Proto získání, zpracování a analýza geografické informace je pro krizové řízení životně důležitá.

Ve velké míře je úspěšné rozhodování a strategie postupu při krizových situacích závislá na dostupnosti odpovídající informace prezentované ve správném čase a správným způsobem. Takovéto informace navíc zvyšují průhlednost a zdůvodnitelnost přijatých rozhodnutí a tím pádem jsou důležitým prostředkem veřejné správy. V posledních letech v důsledku řady globálních krizových situací odlišné povahy i původu vzniklo několik mezinárodních iniciativ, jejichž cílem je zvýšit celkové povědomí o důležitosti a hodnotě informací o krizových jevech, které „jsou pravými informacemi v odpovídajícím formátu prezentované správné osobě, a to v době, kdy je třeba učinit rozhodnutí“ (GDIN, 2001).

V současné době je stále poměrně rozšířeným zvykem dodávat krizovému řízení pouze „surovou“ geografickou informaci. Krizové týmy nejenom u nás, ale prakticky na celém světě často mají k dispozici, mají k dispozici mapy se zónami ohrožení (například 50, 100 a 200 letou vodou), využití země či geologického podloží, na jejichž podkladě formulují svá rozhodnutí. Za podklady slouží rozsáhlé topografické a tematické geografické databáze, které ovšem postrádají integrační prvky a ponechávají interpretaci a možné implikace přímo na členech krizového týmu. Uvedené implikace nejsou často na první pohled vůbec patrné, působí zmatečné a v některých případech, při chybné interpretaci, mohou vést dokonce ke špatným a škodlivým rozhodnutím. Členové

krizového řízení potřebují jednoduše takové informace, které jim pomohou posoudit případné následky jejich rozhodnutí podle stávající krizové situace.

Pang (2008) zdůrazňuje nutnost nejenom percepčního pohledu, ale také kognitivních aspektů ve smyslu toho, jak uživatelé rozumí vizualizaci a jak vizualizaci ovlivňuje jejich rozhodování a činnosti. Existuje zde úzká vazba na výzkumy v oblasti kognitivní psychologie, od níž se kartografická, respektive obecně vizualizační komunita může učit správné a špatné způsoby prezentace informací.

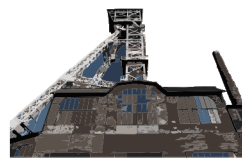
Osoby odpovědné za kritická rozhodnutí jsou především schopny zpracovat pouze omezený počet grafických proměnných, a to zejména tehdy, pokud jsou pod časovým tlakem. Je proto nezbytné, aby vizualizace byly zachovány v co nejjednodušší podobě a obsahovaly pouze kritické informace nutné pro proces rozhodování. Selektivní předzpracování vizualizované informace může snížit kognitivní nápor tím, že umožní uživateli se soustředit důležité aspekty dat (=důležité pro danou úlohu). Způsob, jakým jsou informace prezentovány, může ovlivnit výsledné rozhodnutí.

V oblasti krizového managementu (řízení) je řada osob vstupujících do celého cyklu řízení v různých okamžicích s tím, že se výrazně liší typ informací a forma jejich prezentace, kterou potřebují pro své rozhodování. Způsob „jedna velikost stačí pro všechny“ není zjevně v takovém případě správným řešením.

Současné prostředky elektronické kartografie umožňují generovat mapy z prostorových dat ve velmi krátkém čase, čímž se otevírá cesta ke zvýšené interakci mezi uživatelem a mapou a k možnostem přizpůsobit mapu potřebám uživatele. Přizpůsobením mapy se rozumí zobrazení pouze těch informací, které jsou pro uživatele v danou chvíli relevantní, zvýraznění těch nejdůležitějších a potlačení méně důležitých, dále použití symboliky odpovídající uživatelským potřebám a zvykům, a to i v závislosti na zobrazovacím zařízení, světelných podmínkách apod. Soubor těchto charakteristik a aspektů souvisejících s účelem mapy, uživatelem a prostředím se nazývá kontext mapy. Mapa, která se dokáže přizpůsobit danému kontextu (dokáže změnit svůj obsah, náplň a symboliku), se nazývá adaptabilní mapa, postup tvorby adaptabilní mapy se pak nazývá kontextová (adaptabilní) vizualizace (Muličková a kol. 2007). Dodáváním relevantních informací v reálném čase a jejich zvýrazněním (resp. potlačením) umožňuje kontextová vizualizace proces rozhodování usnadnit a urychlit. V celém krizovém řízení lze navíc vypořádat mnoho různých typů kontextů, od uživatelských, přes situační až po technologické, což skýtá široké možnosti využití kontextové vizualizace.



XXII SJEZD ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI OSTRAVA 2010



Výše uvedené konceptuální a metodické přístupy k vizualizaci nejistoty lze aplikovat také v oblasti krizového řízení a přírodních hazardů v kombinaci s navrhovanými postupy adaptabilní kartografické vizualizace (Kubíček a kol. 2010, Charvát a kol. 2007). V souladu s principy kontextu je nutné vizualizaci nejistoty podrobit nejenom technologické implementaci (viz obr. 1), ale také následnému testování schopnosti uživatelů ji efektivně využít. Pro tento účel je v současné době připravován scénář „Povodeň“ v jehož rámci budou testovány jak principy využitelnosti kontextové vizualizace, tak možnost využití vizualizace nejistoty zaplavení jednotlivých budov, respektive míry ohrožení budov při překročení určitého průtoku.

Závěr

Kartografie a vizualizace geografických dat může sehrát významnou roli pro zvýšení obecného povědomí o nejistotě. Mapy, jako prostředek geografického výzkumu se jeví jako vhodnější prezentační prostředí, než textová či mluvená informace. Bylo prokázáno (Zhang a Goodchild 2002), že vizualizace může být použita pro zlepšení komunikace o nejistotě dat v rámci prostorových analýz a rozhodovacích procesů a napomůže také k lepšímu pochopení modelovaného reálného světa. Nejistota může vykazovat určité prostorové vzory a vizualizace je může odhalit a sloužit nejenom jako prostředek prezentace prostorových dat, ale především jako nástroj průzkumu (explorace) a vizuální analýzy.

K obecnému využití a efektivní vizualizaci nejistoty vede však ještě dlouhá cesta. Ucelená koncepce zavedení nejistoty, její důsledná propagace v rámci modelování, vizualizace výsledků a následné testování jejich srozumitelnosti a využitelnosti pro uživatele mohou napomoci k lepšímu rozhodování a minimalizaci škod jak v případě přírodních hazardů, tak v řadě dalších oblastí krizového řízení.

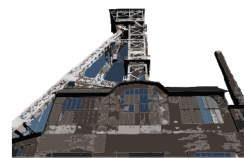
Použité zdroje:

- BERTIN, J. (1973): *Sémiologie graphique*. 2. vydání, La Haye, Paris, 431 s.
- BURROUGH, P. A., FRANK, A. U., eds. (1996): *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. Taylor and Francis Inc., Bristol, 256 s.
- DRÁPELA, M. (1983): *Vybrané kapitoly z kartografie*. SPN, Praha, 128 s.
- Global Disaster Information Network (GDIN).
GDIN.ORG
http://www.gdin-international.org/about_policy.html

- CHARVÁT, K., KUBÍČEK, P., TALHOFFER, V., KONEČNÝ, M., JEŽEK, J. (2008): Spatial Data Infrastructure and Geovisualization in Emergency Management. In: Pasman, H.(ed): *Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues*. Dordrecht : Springer - Verlag, s. 443 – 474.
- FRIEDMANNOVÁ, L., KONEČNÝ, M., STANĚK, K. (2006): An adaptive cartographic visualization for support of the crisis management. *Auto-Carto 2006*, Vancouver.
- GERSHON, N. (1998): Visualization of an imperfect world. *Computer Graphics and Applications*, volume 18(4), s. 43 – 45.
- HENGEL, T., HEUVELINK, G., STEIN, A. (2004): A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geodetika*, volume 120, s.75–93.
- KAŇOK, J. (1999): *Tematická kartografie*. Ostravská univerzita v Ostravě, 318 s.
- KUBÍČEK, P., STANĚK, K. (2006): Dynamic visualization in emergency management. In *Proceedings of First international conference on cartography and GIS*. Sofia : Sofia Univerzity, s. 40-41,
- KUBÍČEK, P., LUDÍK, T., MULÍČKOVÁ, E., RÁČEK, J., ŠAFR, G. (2010): Process Support and Adaptive Geovisualisation in Emergency Management. In: Konecny, M., Zlatanova, S., Bandrova, T. (eds.): *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management - Towards Better Solutions*. 1st Edition. Heidelberg Dordrecht London New York : Springer, s. 335-348.
- MACEACHREN, A. (1992): Visualizing uncertain information. *Cartographic Perspectives*, volume 13, s. 10-19.
- MACEACHREN, A., ROBINSON, A., HOPPER, S., GARDNER, S., MURRAY, R., GAHEGAN, M., HETZLER, E. (2005): Visualising geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know. *Cartography and Geographic Information Science*, 32(3), s. 139 – 160.
- MACFARLANE, R. (2005): *A Guide to GIS Applications in Integrated Emergency Management*, Emergency Planning College, Cabinet Office. 128 s.
- MULÍČKOVÁ, E., KOZEL, J., KUBÍČEK, P. (2007): Využití kontextové vizualizace při sledování přepravy nebezpečných nákladů. In *Sborník*



XXII SJEZD ČESKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI OSTRAVA 2010



přednášek Mezinárodního kongresu o interoperabilitě v krizovém řízení Interop-soft 2007. MSD Brno, Brno, s. 47-53.

PANG, A. (2001): Visualizing uncertainty in geo-spatial data. In: Proceedings of the Workshop on the Intersections between Geospatial Information and Information Technology. National Academies Committee of the Computer Science and Telecommunications Board, Washington, D.C.

PANG, A. (2008): Visualizing Uncertainty in Natural Hazards. Risk, Governance and Society, 2008, volume 14, s. 261-294

PANG, A., WITTENBRINK, T., LODHA, K. (1997): Approaches to uncertainty visualization. Visual Computer, volume 13, s. 370-390.

PRAVDA, J. (1997): Mapový jazyk. PrF Univerzita Komenského Bratislava, 88 s.

SLOCUM, T., MCMASTER, R., KESSLER, F., HOWARD, H. (2005): Thematic Cartography and Geographic Visualization. Prentice Hall, New Persey, 576 s.

THOMSON, J., HETZLER, B., MACEACHREN, A., GAHEGAN, M., PAVEL, M. (2005): Typology for visualizing uncertainty. In: Visualization and Data Analysis, volume 5669, s. 146 – 157.

VOŽENÍLEK, V. (1999): Aplikovaná kartografie I. (tematické mapy). Učební text PřF PU. Vydavatelství UP, Olomouc, 168 s.

ZHANG, J., GOODCHILD, M. (2002): Uncertainty in Geographical Information. Taylor and Francis, Inc., London, 266 s.

Příspěvek byl zpracován jako součást řešení Výzkumného záměru MSM0021622418 Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR s názvem "Dynamická geovizualizace v krizovém managementu".

Adresa autora:

RNDr. Petr Kubíček, CSc.

Geografický ústav

Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity

Kotlářská 2

602 00 Brno

kubicek@geogr.muni.cz