

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky



Studijní program: P1314 Geografie

Obor studia: 1302V011 Geoinformatika a kartografie

VIZUALIZACE NEJISTOTY V ENVIRONMENTÁLNÍCH STUDIÍCH

Disertační práce

RNDr. Jan BRUS

Školitel: doc. RNDr. Jaromír Kaňok, CSc.

Olomouc 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci doktorského studia oboru Geoinformatika a kartografie vypracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Jaromíra Kaňoka, CSc.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 13. června 2013

Poděkování

V roce 2008 jsem začal své doktorské studium na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Během řešení disertační práce jsem měl tu čest podílet se na realizaci zajímavých projektů a byla to také velmi cenná životní zkušenost. Tímto bych rád poděkoval mému školiteli doc. RNDr. Jaromíru Kaňokovi, CSc. za jeho pomoc, dlouhodobé vedení a především za velkou podporu při realizaci této disertační práce. Také bych rád poděkoval vedoucímu katedry prof. RNDr. Vítu Voženílkovi, CSc. za možnost být členem katedry, za konzultace, podporu a prostor pro zpracování disertační práce. Chtěl bych také poděkovat všem mým kolegům a dalším lidem, kteří mi během studia pomohli. Patří jim poděkování za cenné rady, nápady, hodiny konzultací při řešení problémů, byť ne vždy zcela spojených s touto prací. Velké poděkování patří Ing. Heleně Kilianové, Ph.D. za zapojení do projektů, díky kterým jsem měl možnost osobního růstu a dostal profesní rozhled. Děkuji také RNDr. Aleně Vondrákové za celkovou podporu a obětavou pomoc při psaní práce. Poděkování patří všem českým a zahraničním pracovištím, na kterých jsem měl možnost svůj výzkum konzultovat. Mezi ty, kterým bych chtěl zvláště poděkovat, patří Risto Kalliola, Terje Midtbø, Jukka Käyhkö, Niina Käyhkö, Sanna Mäki, Ferjan Ormeling, Corné van Elzakker a mnozí další. Ve finále děkuji především svým rodičům a rodině, za to, že mi připravila prostředí, díky kterému jsem měl možnost studovat. Zvláštní poděkování a věnování patří mé partnerce Báře, protože bez ní by tato práce nikdy nevznikla.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD | 7 |
| 1 CÍLE PRÁCE | 10 |
| 2 Metody a způsob řešení | 12 |
| 3 Vymezení pojmu nejistota v environmentálních studiích | 13 |
| 4 KVALITA DAT | 22 |
| 4.1 Informace, data, znalosti | 22 |
| 4.2 PROSTOROVÁ DATA | 23 |
| 4.2.1 Dimenze prostorových dat | 23 |
| 4.3 KVALITA PROSTOROVÝCH DAT | 24 |
| 4.3.1 Standardy kvality prostorových dat | 26 |
| 4.3.2 Komponenty kvality prostorových dat | 31 |
| 5 PRINCIPY VIZUALIZACE NEJISTOTY | 39 |
| 5.1 Mapa jako komunikační prostředek | 40 |
| 5.1.1 Mapa jako komunikační prostředek při vizualizaci nejistoty | 45 |
| 5.2 Kognitivní aspekty vizualizace nejistoty kvality prostorových dat | 47 |
| 5.2.1 Percepční a kognitivní teorie | 49 |
| 6 VIZUALIZACE NEJISTOTY | 56 |
| 6.1 Komplexita a typologie nejistoty | 57 |
| 6.2 Proces vizualizace nejistoty | 59 |
| 6.3 Metody vizualizace nejistoty | 61 |
| 7 PŘÍPADOVÉ STUDIE | 66 |
| 7.1 Územní plánování a suburbanizace na příkladu města Olomouce – vizualizace stabilních ploch | 67 |
| 7.1.1 Popis dat, postup práce a vymezení problému | 67 |
| 7.1.2 Metody | 70 |
| 7.1.3 Výběr prostředků a metod vizualizace nejistoty | 73 |
| 7.2 Vizualizace nejistoty v DEM – Rusavská hornatina | 77 |
| 7.2.1 Vymezení problému | 77 |
| 7.2.2 Výběr prostředků a metod vizualizace nejistoty | 79 |
| 7.3 Vizualizace ekotonů v povodí Trkmanky | 80 |
| 7.3.1 Možnosti modelování ekotonů v prostředí GIS | 83 |
| 7.3.2 Vymezení problému vizualizace | 84 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.3.3 | Metody a použitá data..... | 86 |
| 7.3.4 | Výběr prostředků a metod vizualizace | 87 |
| 7.4 | Změny půdního krytu dobývacího prostoru Heřmanice mezi lety 1966–2003..... | 91 |
| 7.4.1 | Vymezení problému..... | 91 |
| 7.4.2 | Popis dat a postup práce..... | 93 |
| 7.4.3 | Výběr prostředků a metod vizualizace | 96 |
| 7.5 | Vizualizace nejistoty meteorologických dat na příkladu interpolace průměrných teplot vzduchu v České republice..... | 100 |
| 7.5.1 | Interpolační metody | 100 |
| 7.5.2 | Vizualizace nejistoty klimatických dat..... | 102 |
| 7.5.3 | Výsledky..... | 103 |
| 8 | UŽIVATELSKÉ TESTOVÁNÍ VIZUALIZACÍ NEJISTOTY | 107 |
| 8.1 | Studie testování použitelnosti vizualizací nejistoty | 107 |
| 8.2 | Testování intuitivnosti navržených vizualizací..... | 108 |
| 8.2.1 | Experiment | 109 |
| 9 | NÁVRH KONCEPTU VIZUALIZACE NEJISTOTY V ENVIRONMENTÁLNÍCH STUDIÍCH | 115 |
| 10 | DISKUZE | 121 |
| 11 | ZÁVĚR..... | 124 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 125 |
| | SEZNAM TABULEK | 127 |
| | POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE | 128 |
| | SUMMARY | 143 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AGI – Association for Geographic Information
AGILE – Association of Geographic Information Laboratories for Europe
ANZLIC – The Spatial Information Council
AOI – Area Of Interest
CAT – Catalogue Service
CEN – The European Committee for Standardization
CENELEC – European Committee for Electrotechnical Standardization
CSDGM – Content Standard for Digital Geospatial Metadata
ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav
ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM – Digital Elevation Model
DP – dobývací prostor
EDA – Exploratory Data Analysis
EFTA – European Free Trade Association
ESDA – Exploratory Spatial Data Analysis
ETSI – European Telecommunications Standards Institute
EU – Evropská unie
FGDC – Federal Geographic Data Committee
GEOIDE – GEOIDE Annual Scientific Conference
GIS – Geografické Informační Systémy
GIScience – Geografická Informační věda, Geoinformační věda
GML – Geography Markup Language
GNSS – globální družicový navigační systém
GPS – Global Positioning System
ICA – International Cartographic Association
ILWIS – The Integrated Land and Water Information System
InfoVis – vizualizace informace (informační vizualizace)
INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in Europe
ISO – International Organization for Standardization
ISO/TC 211 - ISO/TC 211 Geographic information/Geomatics
NCDCCDS – National Committee-Digital Cartographic Data Standards
NCGIA – National Center for Geographic Information and Analysis
NTF – National Transfer Format
NZGMS – New Zealand Metadata Standard
QGIS – Quantum GIS
SAGA – System for Automated Geoscientific Analyses
SciVis – Scientific Visualisation
SDTS – The Spatial Data Transfer Standard
SEE – satisfaction, efficiency, effectiveness
S-JTSK – Souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SMI – SensoMotoric Instruments
ÚP – územní plán
Visc – Visualisation in Scientific Computing
VÚGTK – Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
WFS – Web Feature Service
WMS – Web Map Service

ÚVOD

„Můžeme důvěřovat pouze jediným věcem, a sice že jisté se stává nejistým a pravděpodobné nepravděpodobným.“

Kjell Anders Nördström

Jakékoli rozhodnutí může být pouze tak dobré, jak kvalitní jsou informace, nad kterými je rozhodováno. Pokud se však jedná o reálná data složek životního prostředí, a to i data simulovaná, je nejistota nepopíratelnou součástí každodenního života. Mike Goodchild [ZHANG A GOODCHILD, 2002] označil kvalitu prostorové informace jako „Achillovu patu GIS“. V tomto kontextu je třeba počítat s tím, že v environmentálních studiích se vždy vyskytuje určitá nejistota nebo neurčitost. Samotná nejistota vyplývá z podstaty přírodních procesů a jejich variability a následné modelace a vizualizace těchto procesů se neobejdou bez určité míry aproximace. Pro komplexní pochopení, modelaci a následnou vizualizaci chybí téměř vždy dostatek informací, dat a především dokonalé pochopení všech přírodních procesů a jednotlivých složek. V rámci přírodních procesů a environmentálních studií tak stále existují složky, které jsou nepoznané [COUCLELIS, 2003], nebo nemohou být poznatelné s dostatečnou přesností [LONGLEY, 2011]. Stále existují chyby vzniklé získáváním dat (měřicí zařízení, sensory), úpravou a zpracováváním dat (data mining) a následně také vizuální reprezentací těchto dat [GRIETHE A SCHUMANN, 2006]. Lze tedy konstatovat, že téměř vždy je ve studiích zabývajících se přírodní složkou obsažen určitý stupeň nejistoty [CEDILNIK A RHEINGANS, 2000].

Kartografové se s problémem zobrazování nejistoty potýkají již velmi dlouhou dobu. Ve většině případů je nejistota v procesu kartografického zpracování ignorována, a to především kvůli předpokladu, že uživatel mapy nebude schopný omezení způsobená právě touto abstrakcí vnímat. Nicméně výsledné mapy jsou brány jako pomyslný pilíř objektivnosti a pravdivosti, což v konečném důsledku u všech uživatelů těchto map vyvolává pocit důvěry [ROTH, 2009]. Tendenci uživatelů akceptovat mapy jako „objektivní realitu“ v momentě, kdy jsou vytvořeny a vytištěny, lze poměrně jednoduše vysvětlit. Všichni se učí používat mapy jako obraz reality již od dětství, kdy se k nim dostane první mapa. Tyto mapy zobrazující zemský povrch jsou velmi obecné a polohová chyba nehraje v praktickém životě téměř žádnou roli. Pro mnoho aplikací je tak použití mapy s velkým množstvím skryté nejistoty přijatelné a pro efektivní komunikaci spíše potřebné. Problém však nastává v okamžiku, kdy se o výsledky těchto analýz začínají zajímat další odborníci, kteří tato kartografická díla využívají jako podklad pro podporu rozhodování. Tehdy se nejistota obsažená v mapě dostává do popředí zájmu a tvoří zcela zásadní informaci. Predikční mapy, mapy vývoje klimatu, půdního krytu, mapy vzniklé jako výstup z modelací přírodních složek a mnohé další vždy obsahují chyby. Veřejnosti předkládaná mapa a její legenda však většinou nenese jakoukoli informaci o použitém modelu, jeho přesnosti a dalších klíčových informacích. Většina uživatelů map tedy o správnosti zobrazovaných dat nepochybuje a prezentovaná data jsou pokládána za správná a odpovídající realitě. Pro odborné analýzy a využití vizualizací například v rozhodovacích procesech však nastává požadavek informaci odborníkům sdělit v co možná nejpřesnější formě. Pro uživatele

z této oblasti odborné veřejnosti je velmi důležitým požadavkem pochopit koncept, jednotlivé komponenty a implikace existující nejistoty u prezentovaných údajů, s cílem dosáhnout informovaných a transparentních rozhodnutí. Pokud je tedy pro výsledné sdělení dat a práci s nimi zvolena metoda kartografické vizualizace, je nutné zahrnout do připravovaného výstupu i nejistotu [GRIETHE A SCHUMANN, 2006]. S rozvojem geoinformatiky a především neokartografie na počátku 21. století [CARTWRIGHT, 2012] se prostorová data stávají přístupnější mnohem širší komunitě než doposud. Významnou změnu ve sběru a správě geodat však nereflektovali jejich zpracovatelé, a uživatelé tak jsou v podstatě odlučovani od informací o detailech sběru a zpracování dat, které byly v minulosti základem pro uvědomění si kvality těchto informací [BEARD A KOL., 1991]. Navíc většina uživatelů prostorových dat nemá potřebné znalosti problematiky a při práci s geodaty spoléhají velmi často pouze na předchozí zkušenost a přiložená metadata nebo informaci o kvalitě dat zcela ignorují. Přestože kvalita údajů je nezbytnou součástí zpracovávaných datových souborů, tato skutečnost byla a stále je velice opomíjena při zpracování nebo zobrazování prostorových dat [WAINER, 2009]. Jedním z důležitých aspektů při předávání informací o kvalitě prostorové informace uživatelům je tedy kromě informací obsažených v metadatových popisech také samotná vizualizace kvality prostorových dat.

Nespornou výhodou vizualizace je, že formou jednoduchých obrázků může pomoci uživatelům prozkoumat a hlavně pochopit neviditelné a komplexní vztahy týkající se dat, například prostřednictvím identifikace chyb modelů, jejich parametrů a důsledků těchto faktorů. Chyby modelů nebo jiné parametry dat tvoří základ pro vizualizační metody, zatímco vizualizační techniky jsou navrženy tak, aby zobrazovaly parametry jednotlivých chyb nebo generovaly a zobrazovaly realizace chyb v daném modelu. Existuje celá řada rozvinutých chybových modelů pro různé druhy datových souborů. Způsob, jakým jsou informace prezentovány, může zcela zásadně ovlivnit výsledek rozhodovacího procesu. To znamená, že je nutné, aby byl konečný uživatel mapy obeznámen s podstatou a stupněm nejistoty těchto dat. Pokud si uživatel těchto zcela zásadních skutečností není vědom, může docházet k nesprávnému pochopení dat a následně k jejich špatné interpretaci [OLSTON A MACKINLAY, 2002]. Pro komplexní a správný přenos informací je tedy nutné pochopit podstatu dat a dokázat získaná data správně vizualizovat. Z tohoto pohledu vizualizace nejistoty čtenářům umožňuje pochopit variabilitu přírodního prostředí mnohem komplexněji než kartografické výstupy bez zahrnutí této nejistoty. Doposud však existuje jen velmi malé procento map, které zahrnují alespoň minimální snahu o vizualizaci nejistoty. Popularizace by přitom mohla pomoci zlepšení komunikace mezi experty a odborníky, kteří se nad uvedenými mapovými výstupy rozhodují. Vizualizace nejistoty tak může napomoci zvyšování obecného povědomí o nejistotě v geografických a environmentálních datech díky skutečnosti, že mapy tvoří vhodnější prezentační prostředí než text nebo mluvené slovo [ZHANG A GOODCHILD, 2002].

Integrace informace o kvalitě dat do forem kartografické vizualizace je důležitou výzvou. Kartografická vizualizace se tak může stát efektivnějším nástrojem, což dokládá i zařazení vizualizace nejistoty mezi nejdůležitější výzkumné otázky vizuální analýzy [WONG A KOL., 2012] a celá řada diskusí o rolích a využití vizualizace pro pochopení a analýzu informace o kvalitě prostorových dat [BEARD A BUTTENFIELD, 1999; MAC EACHREN, 1992;

MCGRANAGHAN, 1993; PARADIS A BEARD, 1994]. Kvalita prostorových dat je z tohoto pohledu velmi diskutované téma a vzhledem k jeho aktuálnosti se dostává do popředí zájmu také v ostatních geovědních oborech a geoinformatice. Tento stav však vyžaduje, aby prezentace metadat, především s ohledem na kvalitu prostorových dat, byla informativní a snadno pochopitelná. Údaje o kvalitě geodat by měly být snadno přístupné, aby využívání prostorových dat pro konkrétní aplikace bylo efektivní. Nicméně ani tato oblast není dokonale zpracována a chybí základní nástroje, jak s nejistotou v geografických informačních systémech (GIS) pracovat, a jak nejistotu správně vizualizovat.

Forma vizualizace je také jednou z možných příčin nejistoty prezentovaných prostorových dat. Nejpodstatnějším problémem je však samotná prezentace nejistoty pomocí map. Samotná mapa může být postižena nejen chybou v nesprávné vizualizaci nejistoty, ale může být ovlivněna také kvůli nesprávné vizualizaci samotné, použité kartografické metodě, nevhodně zvolené barvě apod. Je tedy nutné vytvořit koncept pro vizualizaci nejistoty s cílem zefektivnit práci s prostorovými daty a docílit správného přenosu informací o kvalitě dat. Kartografická vizualizace vědeckých výstupů by tak vždy měla dodržovat určité zásady a pravidla. Tvůrci map a jiných forem vizualizací by měli zakomponovat nejistotu pro co nejrealističtější přiblížení dat a informací dalším uživatelům těchto výstupů. Správnou a efektivní vizualizací nejistoty dochází k mnohem detailnějšímu sdílení poznatků nejen mezi odborníky samotnými, ale také mezi odborníky a veřejností. Stále však zůstává nezodpovězena řada výzkumných otázek týkajících se efektivní formy vizualizace nejistoty, typologie vizualizace nejistoty, vlivu na rozhodovací procesy a mnohé další. Tato práce je zaměřena na výzkum konkrétních příkladů vizualizace kvality prostorových dat v environmentálních studiích.

1 CÍLE PRÁCE

Vizualizace nejistoty prostorových dat byla velmi diskutovaným tématem v devadesátých letech minulého století. V tomto období bylo navrženo mnoho teorií, konceptů a metod. Vzhledem k technologiím dostupným v tomto období však byla většina výzkumů omezena pouze na teoretickou úroveň. S rozvojem moderních počítačových a komunikačních technologií, kdy se internet, desktopové a mobilní GIS nástroje a další související prostředky komunikace staly velmi populární, se vizualizace nejistoty dostala ještě více do popředí zájmu odborníků. Schopnost vizualizovat nejistotu a s ní spojenou kvalitu prostorové informace v těchto prostředích může pomoci usnadnit efektivitu využívání prostorových dat.

Vizualizace nejistoty prostorových dat zahrnuje celou řadu otázek týkajících se údajů o kvalitě jednotlivých komponent, jejich definici, charakteru, návrhu databází, grafických metodách, jejich výběru a implementace, dynamického sledování a popisu šíření chyby během GIS operací a mnohé další. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že je potřebné zkoumat, rozšířit a integrovat stávající výzkum v oblasti vizualizace nejistoty prostorových dat v rámci environmentálních studií, a to především v České republice, kde bylo toto téma doposud řešeno spíše okrajově, respektive existuje pouze několik pracovišť, kde byla tato oblast řešena podrobněji.

Cíle práce lze shrnout následovně:

- Posoudit základní koncepty pro vizualizaci nejistoty prostorových dat, identifikovat problémy s nimi spojené a rozšířit rámec pro vizualizaci kvality prostorových dat.
- Systematicky prozkoumat jednotlivé dílčí koncepty z pohledu komponentů kvality prostorových dat, standardů kvality prostorových dat a vizualizačních technik s cílem navrhnout vylepšený koncept vizualizace nejistoty.

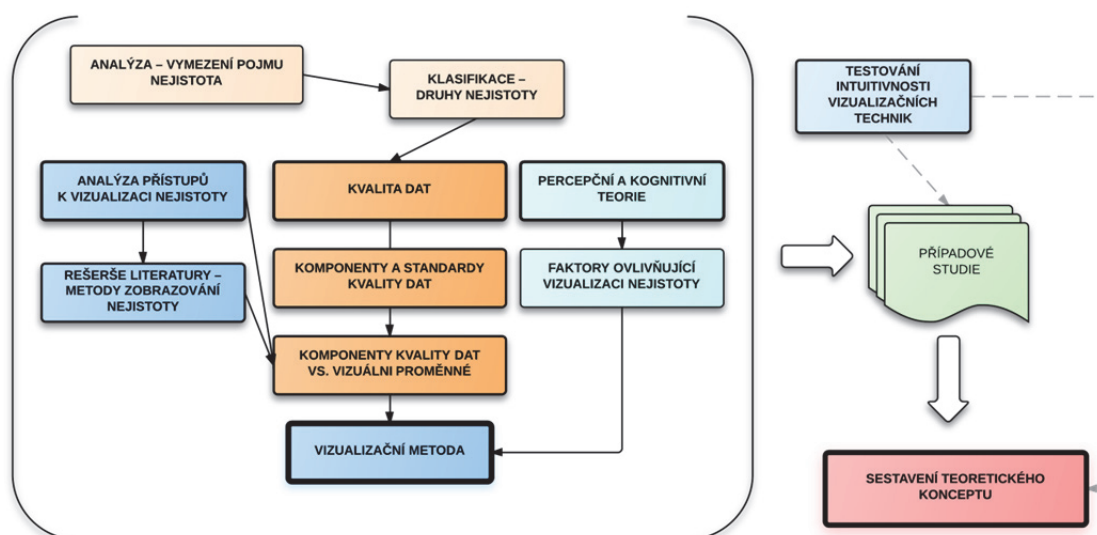
Jednotlivé **dílčí cíle práce** lze poté shrnout do uvedených bodů:

- Vymezení pojmu nejistota v rámci environmentálních studií především s ohledem na kvalitu prostorových dat.
- Analýza jednotlivých komponent kvality prostorových dat a jejich standardizace.
- Studium a analýza faktorů ovlivňujících percepci vizuální informace z map s obsaženou nejistotou.
- Rešerše existujících přístupů k vizualizaci nejistoty s důrazem na environmentální studie.
- Analýza používaných způsobů vizualizace nejistoty v environmentálních studiích a stanovení jejich specifických vlastností.
- Návrh objektivního řešení vizualizace nejistoty pro případové studie s důrazem na vizualizační techniky.
- Testování intuitivnosti navržených metod pro konkrétní případovou studii.

Přínos práce v oblasti řešené problematiky zahrnuje primárně dvě důležité části:

- Práce navrhuje některé nové požadavky na metody vizualizace pro environmentální studie, kdy pro potřeby práce a vizualizačních metod v rámci konkrétních environmentálních studií jsou aplikovány nové přístupy.
- V práci je vyvinut koncept pro vizualizaci kvality prostorových dat na základě implementace tohoto přístupu do několika případových studií. Cílem je doložit význam užitečnosti vizualizace kvality prostorových dat pro environmentální studie pomocí metod kartografické vizualizace.

Nové pojetí tohoto výzkumu představuje rozšíření konceptů vizualizace kvality prostorových dat, integrace dat a realizace vizualizačních metod. Hlavním cílem celé práce je sestavení **teoretického konceptu vizualizace nejistoty prostorových dat** v kontextu mapové tvorby v environmentálních studiích.



Obr. 1.1 Schéma řešení disertační práce

2 METODY A ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Práce je vzhledem ke svému tématu specifická především problematickým vymezením použité terminologie a konkrétního pojetí vizualizace nejistoty. Teoretická část disertační práce je proto primárně zaměřena na rozbor jednotlivých aspektů, které ovlivňují vizualizaci nejistoty. Část práce se zaměřuje na vymezení pojmu nejistota. V dalších částech je důraz kladen na kvalitu prostorových dat, jejich standardizaci, a také samotný proces kartografické komunikace se zaměřením na odlišné osobnostní charakteristiky konkrétního uživatele. Část práce týkající se konkrétních vizualizačních metod a přístupů je následně postavena na rešerši a analýze dosavadních nejvýznamnějších pramenů v této oblasti.

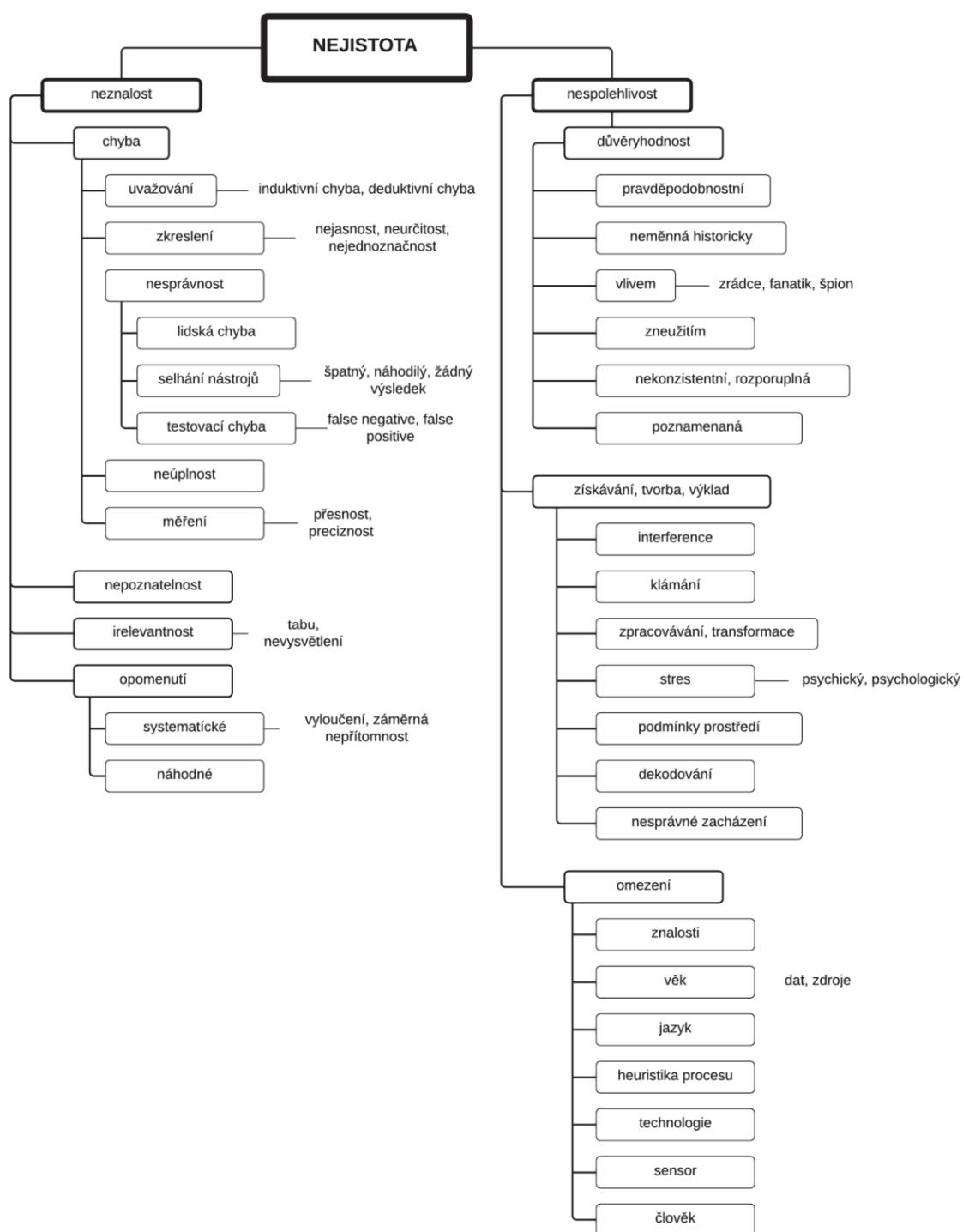
Obsáhlost zkoumané problematiky se snaží postihnout také aplikační část práce, která se týká aplikace konkrétních vizualizačních technik při vizualizaci kvality prostorových dat v rámci případových studií. V případových studiích je prováděn rozbor jednotlivých aspektů a komponentů kvality dat, které mají vliv na výslednou reprezentaci. V rámci této části je vždy navržena konkrétní vizualizační technika, která odráží povahu vizualizované nejistoty a následně je diskutována vhodnost jejího použití. Jednotlivé metody jsou navrhovány a aplikovány především s důrazem na možnost ovlivnit rozhodovací procesy čtenáře mapy a umožnit ve finále více objektivní rozhodnutí. Aplikační část práce je spojená také se samotnou vizualizační technikou, kdy byla provedena rešerše a implementace dané techniky dostupné v různých programových prostředcích do výsledné vizualizace. Z pohledu omezené zobecnitelnosti výsledků při aplikaci pouze na malý počet případových studií byly v rámci environmentálních studií vybrány studie týkající se více oblastí.

Empirická část práce je zaměřena na testování výsledných vizualizačních technik získaných v rámci řešení případových studií. Hodnocené vizualizace jsou podrobeny uživatelskému testování s využitím eye-tracking zařízení. Celý design experimentu je proveden na principu míry asociativnosti jednotlivých vizualizačních metod přímo implementovaných do konkrétního mapového výstupu. Cílem je objektivně posoudit, zda existuje rozdíl ve vnímání odlišných technik, a zvolit pro konkrétní případovou studii nejvhodnější metodu. Jako uplatnitelný výsledek práce navrhuje rozšířené schéma pro vizualizaci nejistoty, které je aplikovatelné při řešení dalších environmentálních studií.

3 VYMEZENÍ POJMU NEJISTOTA V ENVIRONMENTÁLNÍCH STUDIÍCH

Pojem *nejistota* je v zahraniční i české literatuře poměrně často skloňován a v posledních dvaceti letech se dostává do popředí zájmu stále většího počtu odborníků. Současný rozvoj techniky tuto skutečnost jen umocňuje. V oblasti geoinformatiky není situace odlišná, právě naopak. Dochází k prudkému rozvoji implementací jednotlivých teorií pracujících s tímto přístupem a nejistota se stává neoddelitelnou součástí většiny operací s prostorovými daty. I přes uvedenou skutečnost však samotné chápání nejistoty v oblasti geoinformatiky stále naráží na problematiku vymezení tohoto pojmu vůči jednotlivým vědním disciplínám.

V literatuře lze nalézt poměrně obsáhlé množství definic nejistoty. Velký počet definic odráží rozsáhlost problematiky, která je skryta pod tento obecný pojem. Velmi často je například debatován rozdíl mezi termíny *přesnost* a *nejistota*. V kartografii jsou tyto dva termíny chápány velmi podobně a někdy jsou dokonce považovány za synonyma [BOUKHELIFA A DUKE, 2007]. V souvislosti s nejistotou je možné hovořit o přesnosti, spolehlivosti, jasnosti, výraznosti apod. [DUCKHAM A KOL., 2001]. Obecněji lze nejistotu definovat jako nedokonalost znalostí uživatelů o údajích, procesech nebo výsledcích. *Nejistota* je tedy mnohostranný pojem a zahrnuje řadu typů. Patří mezi ně například nepřesnost, neurčitost, nedokonalá znalost, nedůslednost, chybějící informace, šum, dvojznačnost, nedostatek spolehlivosti, pochybnost a další. Definice nejistoty jsou proto velmi bohaté a odráží její různé vlastnosti. Přehled komplexnosti jednotlivých komponent nejistoty je uveden na obrázku 3.1. Díky obsáhlému počtu druhů nejistoty nepanuje v používané terminologii žádná jasná shoda nebo všeobecně přijímaný význam [MAC EACHREN A KOL., 2005]. Zásadní vliv na uvedenou skutečnost má také nejednoznačnost překladu z různých jazyků, především z angličtiny, kdy navíc každá vědní disciplína, které se nejistota týká, operuje s další odlišnou terminologií. I v odborné literatuře se pojmy jako nejistota, neurčitost, nejasnost, vágnost, dvojjazyčnost a další objevují často jako synonyma. Z tohoto pohledu je snaha sledovat autoritativní zahraniční zdroje jistě chválná, je však neméně důležité brát v úvahu i nejrůznější specifika prostředí (profesní, teritoriální, jazyková), v nichž tyto autority svá stanoviska formulují [KALOUDA, 2010]. Pro vymezení a správné používání jednotlivých pojmů v rámci geoinformatiky je proto vysoce potřebné s těmito pojmy umět pracovat. Právě geoinformatické vymezení je totiž poměrně specifické a opírá se o celou řadu dílčích teorií, které budou pro lepší pochopení problematiky uvedeny v následujícím textu.



Obr. 3.1 Přehled komplexnosti jednotlivých komponent nejistoty [WATKINS, 2000]

Velmi často je možné se v praxi setkat se situací, kdy jsou odborníkům poskytovány informace, které jsou nejisté. Problémem však nejsou jen nejisté informace, ale také samotné vymezení znalostí o konkrétních pravidlech v daném oboru. Přes tuto „dvojitou“ nejistotu má smysl zvažovat, zda lze z nejistých informací a nejistých znalostí pravidel odvodit závěr s určitou mírou jistoty. Situace je poměrně komplikovaná, neboť ke

stejnému závěru je možné dojít na základě několika různých zdrojů a navíc za pomoci (nejistých) pravidel. Přitom často není známo, zda jsou zdroje informace zcela nezávislé, částečně závislé, či snad dokonce je jedna informace či znalost skrytým důsledkem jiné, a informace jsou zcela závislé. Nejistota z tohoto pohledu znamená, že není dostatek informací k charakterizování aktuálního stavu, k předvídání stavů budoucích nebo realizaci činností potřebných k tomu, aby tyto stavy mohly být dosaženy [MARCH A SIMON, 1958]. Tradiční modely rozhodování vycházejí z principů dokonalých znalostí (poznání) a jistoty a předpokládají optimální množství informací, tedy ani nedostatek, ani nadbytek. Za těchto předpokladů má každé rozhodnutí pouze jeden důsledek a ten je předem znám. Lze usuzovat, že kdyby byly známy všechny podněty, vlivy a příčiny, působící na daný jev nebo proces a jejich sílu, směr působení a jejich vzájemné interakce, bylo by možné predikovat jistý výsledek jako následek jejich působení. Tento předpoklad je však nesplnitelný. Ve skutečnosti většina rozhodnutí probíhá v podmínkách nejistoty a nedokonalých znalostí, kdy má rozhodnutí více možných důsledků a není předem známo, který z těchto důsledků nastane. Tato nejistota je tedy důsledkem částečné nebo úplné neznalosti procesů (vlivů), které podmiňují určité události a jejich náhodný charakter [DUDEK, 1999]. Lze konstatovat, že nejistota je součástí všech přírodních procesů a dotýká se tak všech oborů lidského poznání. Snahy o zpracování nejistot do odborných pojednání lze nalézt již před rokem 1900 [STIGLER, 1986]. Nejistota bývá také chápána jako neurčitost, náhodnost podmínek či výsledků určitých procesů a jevů. Proto je v disertační práci termín neurčitost často zmiňován. Z pohledu práce budou termíny nejistota a neurčitost považována za synonyma, i když mohou nést lehce odlišný význam, kdy neurčitost je převážně spojována s nepoznáním, a nejistota spíše s náhodností. Naopak rizikem se nejčastěji rozumí takový druh nejistoty, kdy je pomocí obvyklých statistických metod či subjektivní pravděpodobnosti možno kvantifikovat pravděpodobnost vzniku výsledků odchylných od očekávaného výstupu. Pojem nejistota (anglický ekvivalent *uncertainty*) je také poměrně často používán k popisu malé jistoty o konkrétním jevu. Z pohledu jistoty informace může samotná míra jistoty velmi kolísat. Lze tedy získávat a pracovat s informacemi, které v sobě nesou velkou nebo naopak malou míru jistoty, až po situaci, kdy se informace stává zcela nedůvěryhodnou. Právě nedůvěra nebo nedostatek jistoty jsou další označení, která jsou často v souvislosti s informacemi používána. Jednotlivá vymezení pojmu *nejistota* ilustrují různé úhly pohledu a umožňují tak lépe pochopit samotnou podstatu řešené problematiky. To, že nejistotu lze chápat velmi odlišně, dokazují následující ilustrační příklady vymezení: *nejistota* v souvislosti s přírodními jevy vyjadřuje, že výsledek je neznámý nebo nedokázaný, *nejistota* v souvislosti s důvěryhodností nějakého výroku vyjadřuje, že závěr není zcela prokazatelný nebo je vyjádřen nejistou informací a *nejistota* v souvislosti s plánováním činností vyjadřuje, že plán není rozhodnutý.

Pojem *nejistota* lze tedy považovat za pojem širšího významu a lze ho chápat jako neurčitost nebo náhodnost podmínek, respektive následků těchto podmínek, v podobě výsledků analyzovaných procesů, jevů či událostí, a to v tom smyslu, že tyto podmínky či výsledky jsou buď pouze částečně známé, pouze částečně kvantifikované nebo pouze částečně kvantifikovatelné do té míry, že mezi nimi (tj. mezi výsledky a jejich podmínkami či příčinami) není možné vyjádřit příčinné závislosti.

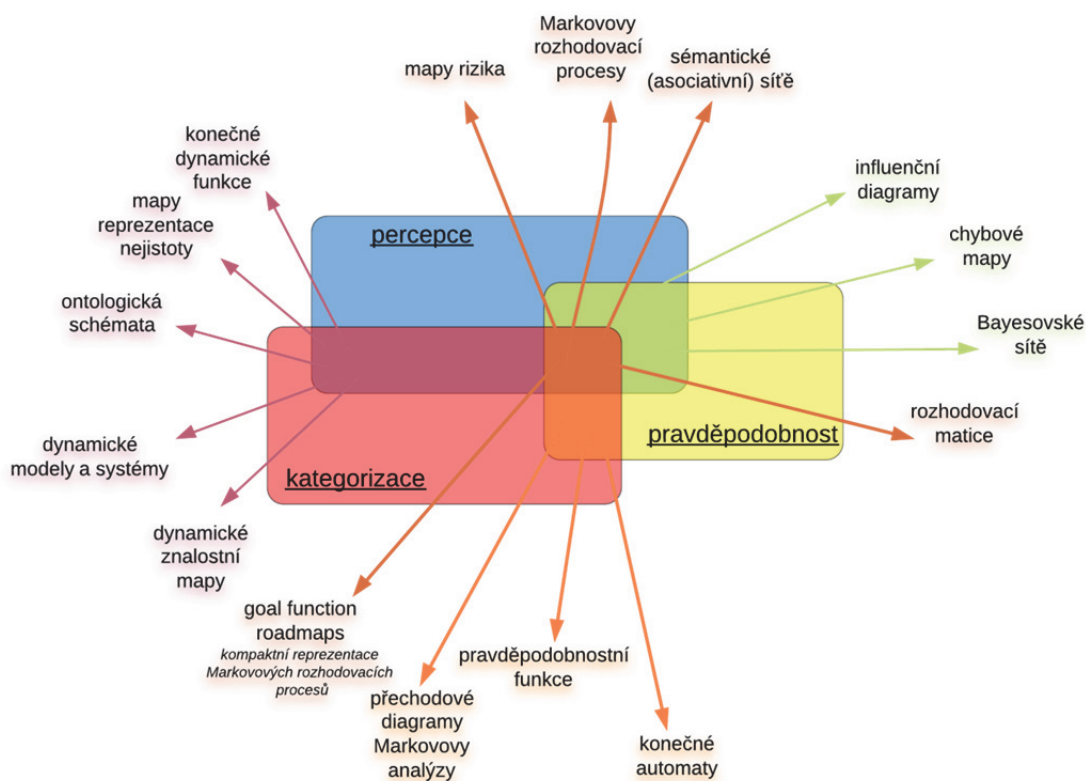
Mezi jeden z nejdůležitějších faktorů, kterému teorie informace a mnohé další obory vděčí za svůj nebyvalý rozvoj v téměř všech oblastech lidského poznání, je paradoxně právě nejistota a neurčitost. Neurčitost, nepřesnost, nejistota, vágnost, nejednoznačnost jsou složkami každé informace, která je vztažena k reálnému světu. Z pohledu nejistoty jsou jisté pouze modely a abstrakce, které vznikly abstraktním myšlením lidí. Co se týká podstaty přírodních procesů, ty jsou vždy nejisté a neurčité. Důkaz je možné vyvodit například v oblasti kvantové mechaniky, kdy se veškeré výsledky pohybují v oblasti neurčitosti. Z tohoto důvodu jsou v kvantové mechanice často využívány metody statistiky a pravděpodobnosti. Příkladem je nejistota popsaná Heisenbergem [HEISENBERG, 1974] jako *princip neurčitosti*, který tvrdí, že je nemožné zjistit současně jak polohu, tak hybnost mikroskopické částice. Neurčitost je vlastně dána samotným měřením. Jestliže není možné s naprostou jistotou zjistit počáteční podmínky, pak ani nelze předpovídat, co se stane v budoucnu. Analogii tohoto tvrzení lze nalézt také v geoinformatické, například při sestavování predikčních modelů.

Absolutně přesné mohou tedy být pouze abstraktní matematické poznatky odvozené z jednoznačných axiomů a definic. Jakmile se však tyto nezpochybnitelné poznatky aplikují na reálný svět, jako například v odvětvích fyziky nebo chemie, nelze již s touto absolutní vlastností modelů počítat. Pokud do procesů, modelů a vytváření nových informací jakýmkoli způsobem vstupují reálná a experimentální data, je třeba si uvědomit, že původní neurčitost a nejistota dat je stále přítomna. V průběhu zpracování se hromadí, narůstá, a ovlivňuje tak výsledek zpracování. Nejistoty zahrnují všechny etapy zpracování dat, od prostých chyb měření a pozorování až ke komplexním nejistotám předpovědí, nahodilosti přírody, přesnosti modelů, budoucích potřeb, možností, chování lidí a politickým omezením. Jejich povaha může být fyzikální, ekonomická, environmentální nebo společenská. Důležitou otázkou je zvažování, zda nejistota může nějakým zásadním způsobem ovlivnit výsledek. Z tohoto pohledu je tedy velmi nutné se nejistotou a neurčitostí zabývat a procesy, vedoucí k výsledkům, mít z tohoto pohledu pod kontrolou.

Existuje řada dalších teorií, které se zabývají neurčitostí informace, například teorie fuzzy množin [ZADEH, 1996], teorie umělých neuronových sítí [FAUSETT, 1994] a teorie deterministického chaosu [OTT, 2002]. Nejrozšířenější a teoreticky nejpropracovanější je teorie pravděpodobnosti a teorie fuzzy množin [AVČR, 2013]. Z pohledu těchto dvou teorií je nejistota pouze jednou ze složek neurčitosti. Neurčitost má v tomto pojetí (nejméně) dvě vzájemně komplementární stránky: vágnost a nejistotu. *Vágnost* lze modelovat pomocí teorie fuzzy množin, zatímco *nejistotu* lze modelovat pomocí teorie pravděpodobnosti, popřípadě pomocí dalších teorií, jako je teorie možnosti, různé míry věrohodnosti a další [NOVÁK, 2000]. Při snaze řešit problémy pravděpodobnostního (Bayesovského) modelu nastává zpravidla situace, kdy není možno věrohodně rozhodnout, zda jsou nejisté poznatky (fakta i znalosti) zcela nezávislé či nikoliv, a tato skutečnost ovlivňuje vyhodnocení jejich podmíněné pravděpodobnosti. Velmi přehledné pojetí a vymezení pravděpodobnosti je uvedeno v publikaci Duboise a Pradeho [DUBOIS A PRADE, 2001].

V neposlední řadě je nutné do celkového přehledu teorií uvést také teorii percepce. Tato disciplína byla ovlivněna humánní psychologií, komplexitou a později také umělou inteligencí a robotikou. Pojetí nejistoty v této oblasti vyústilo v definování percepčních

modelů nejistoty [BOARDMAN A KOL., 2000; GAO, 2002]. Uvedené dílčí modely pro práci s nejistotou a mnohé další lze následně klasifikovat na základě příslušnosti k již zmíněným obecným teoriím (obr. 3.2).



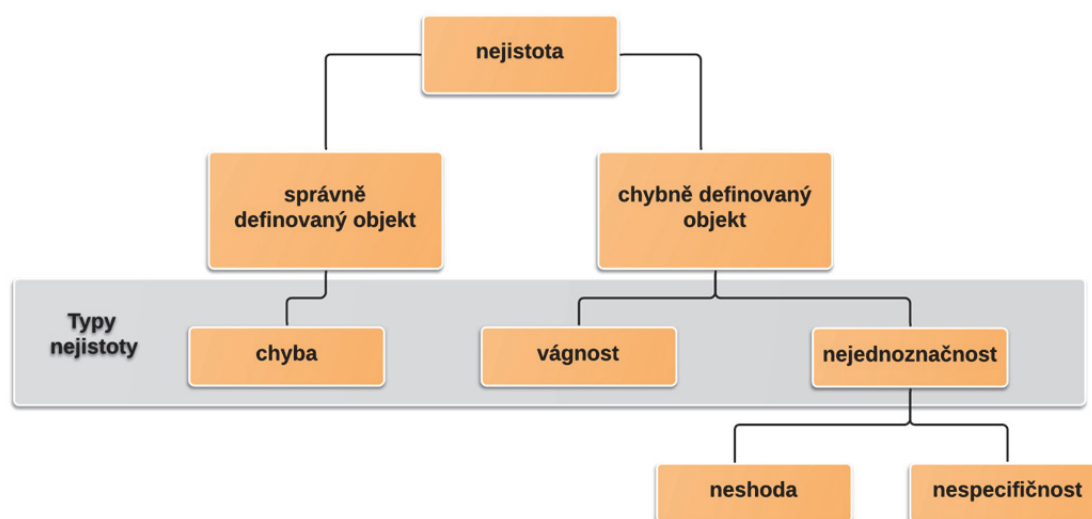
Obr. 3.2 Rozdílné modely nejistoty vyplývající z aplikací teorií pravděpodobnosti, kategorizace a percepční teorie [SAGER A KOL., 2007]

Přírodní a především fyzikální obraz světa se stal základem některých úvah o fungování obecných systémů a v nich probíhajících procesů. V této souvislosti je vhodné jmenovat definování pojmu *entropie* jako míry neuspořádanosti systému v souvislosti s druhým a třetím zákonem termodynamiky [PERROT, 1998]. Podle této teorie v důsledku neuspořádaného stavu atomů dochází ke ztrátě (degradaci) energie v systému, přičemž míru neuspořádanosti (entropii) lze určit jako pravděpodobnost určitého stavu, definovaného v tomto případě počtem možností uspořádání atomů [DUDEK, 1999]. Entropie tak vyjadřuje jakousi míru neurčitosti (nejistoty). Klesá-li entropie, roste celková informace, a naopak. Entropie je podle Shannona [SHANNON A WEAVER, 1949] mírou apriorní neznalosti.

Zpracování neurčitosti a nejistoty se dostalo v posledních letech do popředí také rozvojem na poli umělé inteligence a především díky rozvoji tzv. metod soft computingu. *Soft computing* je termín souhrnně označující metody, které umožňují rychle nalézat řešení (byť ne zcela optimální) vágně a neúplně popsanych problémů. Základními složkami soft computingu jsou fuzzy logika, neuronové sítě, genetické algoritmy, pravděpodobnostní metody a teorie chaosu. Mezi další rozšíření těchto metod patří Dempster–Shafer teorie [DEMPSTER, 2008; SHAFER, 1976] a částečně i teorie učení

[HARMAN A KULKARNI, 2007]. Do této oblasti se přesouvá i práce s neurčitostí z expertních a znalostních systémů. Tyto systémy musí být schopny pracovat s neurčitými nebo nejistými daty jako se subjektivním popisem. Jedná se například o pojmy jako *asi ano* a *spíše ne*, což lze vyjádřit jako určitou míru důvěry v platnost informace. Takto pojatou nejistotu lze rozdělit na nejistotu v bázi znalostí, tj. pravidla jsou uložena s nějakou váhou, nebo mírou důvěry, a na nejistotu v bázi dat, tj. data jsou ohodnocena mírou důvěryhodnosti. Je důležité si uvědomit, že výše zmiňované metody soft computingu se velmi často nepoužívají izolovaně, ale používají se ve vzájemné kombinaci. Jde tedy spíše o jakési partnerství, v němž každý z partnerů přispívá výraznou metodikou pro řešení problémů ve svém oboru. Z tohoto pohledu se hlavní konstrukční metodiky v soft computingu spíše doplňují, než aby si konkurovaly. Kromě uvedeného může být soft computing viděn i jako základní prvek pro nově vznikající oblast konceptuální inteligence [LI, 1996].

Poněkud odlišné pojetí na nejistotu lze nalézt v základech metrologie, kdy nejistota měření určuje interval, ve kterém se pravá hodnota měření nachází (obecně nutno dodat, s jakou pravděpodobností nebo lépe spolehlivostí). Úplný údaj o výsledku potom bude obsahovat nejen hodnotu naměřené veličiny, korigovanou známými hodnotami chyb (popřípadě i hodnoty samotných provedených korekcí), ale i hodnotu nejistoty, popřípadě i pravděpodobnost, s jakou se může naměřená hodnota vyskytnout v daném intervalu [JCGM, 2008; RÖSSLER, 2011]. V tomto pojetí se do středu pozornosti dostává chyba jako jedna z dalších složek nejistoty a nejistotu lze specifikovat jako širší spektrum pochybností nebo nesrovnalostí v informacích, které zahrnují chybu [GAHEGAN A EHLERS, 2000]. Podle některých autorů nesprávnost primárních dat patří mezi nevyhnutelné chyby právě díky nestabilitě pozorovaných jevů, které jsou proměnlivé [CORNÉLIS A BRUNET, 2002], zatímco chyby druhého nebo třetího způsobu by bylo možné mnohem více ovlivnit. Řada odborníků představuje scénáře, jak nejistotu eliminovat, a to například snížením stupně využití dotčených údajů. Stupeň využití je brán podle toho, zda nejsou informace konzultovány vůbec, nebo jestli mají přímý vliv na výsledky [ZWART, 1991]. Z pohledu chyb a geoinformatiky lze dále navázat na dělení Fishera [FISHER A KOL., 2006; FISHER, 1999]. Ten rozlišuje tři formy nejistoty, které vznikají v průběhu procesu odvozování prostorových dat z reálného prostředí. Jedná se o chybu (error), vágnost (fuzziness) a nejednoznačnost (ambiguity) (obr. 3.3).



Obr. 3.3 Konceptuální model nejistoty v prostorových datech [FISHER A KOL., 2006]

Chyba je v tomto pojetí rozdílem mezi hodnotou vlastnosti objektu měřené s neznámou chybou (v testovací datové sadě) a skutečnou hodnotou vlastnosti téhož objektu měřenou bez chyby (v referenčním souboru dat). Chyba může být měřena pouze v případě, kdy je jasně definovaná. *Vágnost* se vyskytuje v důsledku špatné definice či vymezení. *Vágnost* může být v tomto případě způsobena špatnou dokumentací, nebo pokud jsou sledované objekty rozmazané (fuzzy). *Nejednoznačnost* vzniká kvůli neshodám při definici objektů v souboru prostorových dat nebo díky různému označení geografických objektů a jejich vztahů [HORÁK, 2011]. Takový spor může nastat, protože definice jsou ne vždy striktně specifické. Tato situace může nastat v důsledku zásadních rozdílů v názoru na stejnou problematiku. Jako příklad z praxe lze uvést nepochopení významu a smyslu dat, například zpracování dat kvalitativního charakteru pomocí kartografických vyjadřovacích prostředků umožňujících znázornění kvantity [ČERBA, 2010]. Z výše uvedených definic vyplývá, že pojem nejistota je termín velmi často používaný k vyjádření nejistoty zavedených chyb. Mnozí autoři přiřazují „nejistotám“ a „chybám“ stejný význam a pokládají je za synonyma [BARRY A ELITH, 2006]. Další autoři přiřazují větší význam nejistotě než chybě. Například Miller [MILLER A HAN, 2001] tvrdí, že kromě samotné přesnosti údajů je nutné zvažovat i další aspekty, které přispívají k nejistotě. Jedná se o topologické a logické nesrovnalosti, ke kterým došlo během ověřování dat nebo geoprocessingu. Je tedy důležité si uvědomit, co se v tomto případě termínem chyba myslí. Chyba nezahrnuje pouze omyly, ale také variabilitu ve smyslu statistiky [GOODCHILD, 1994].

Další oblastí, kde se lze s nejistotou velmi často setkat, je modelování. Ve vztahu k nejistotě lze z pohledu samotného modelování odvodit některé důležité skutečnosti. Především se jedná o skutečnost, že samotnou podstatou modelování je náhrada zkoumaného systému jeho modelem, kdy konečným cílem tohoto postupu je pomocí pokusů získat informaci o původním zkoumaném systému. Jak již bylo zmíněno výše, model je přitom vždy určitým zjednodušením sledovaného systému, a vždy obsahuje složky, které jsou označovány jako neurčitosti. Zásadní komplikací celého modelu je, že

samotné informace, ze kterých vychází tvorba modelu, mohou být nekompletní, vzájemně si odporující, nespolehlivé, vágní nebo jinak nedostačující. Tyto nedostatky v potřebných informacích mají za následek různé druhy neurčitosti. Z pohledu modelování se nejistotou při transformaci systému do modelu rozumí situace, kdy nejsou k dispozici všechny potřebné informace nebo kdy některé z informací jsou nespolehlivé [HŘEBÍČEK A HEJČ, 2006]. Věda stojící za sestavením modelu, neznalost přesných hodnot parametrů, konstant a jiných vstupních dat, chyba při pozorování, implementační chyba, to jsou jen některé z mnoha zdrojů nejistoty [HŘEBÍČEK A HEJČ, 2006; KŘIVÝ A KINDLER, 2001]. Pro názornost je možné neurčitosti ovlivňující model rozdělit na tři spolu související kategorie [USEPA, 2003]:

- (a) Neurčitost v matematickém popisu modelu je výsledkem nedostatečné znalosti chování modelovaného systému, neúplných exaktních dat, či zjednodušení, které bylo nutné provést pro matematický popis. V literatuře je možné se setkat s pojmy strukturální (konstrukční) chyba, konceptuální chyba, neurčitost v konceptuálním modelu, nebo chyba/neurčitost modelu, které částečně či zcela odpovídají tomuto druhu neurčitosti.
- (b) Datová neurčitost, označována také jako neurčitost v datech, je způsobena chybami měření, nepřesností analytických metod a omezeným množstvím vzorků při sběru a zacházení s daty. Datová neurčitost je někdy považována za odstranitelnou, neboť je možné ji dalším studiem (měřeními) minimalizovat. Někdy je tato neurčitost nazývána právě nejistotou.
- (c) Neurčitost v aplikaci modelu vyjadřuje neurčitost, v tomto případě chybu, která vznikne použitím konkrétního modelu.

Pro identifikaci neurčitosti existuje tedy několik přístupů v jejich klasifikaci, které jsou výše popsány. Nejistota může vzniknout v datech nebo v modelu samotném [BARRY A ELITH, 2006; TURLEY A FORD, 2009]. Regan a kolektiv [REGAN A KOL., 2002] zahrnuli tyto nejistoty jako „epistemické“ a identifikovali „lingvistickou“ vágnost jako přídavný prvek nejistoty. Foody a Atkinson [FOODY A KOL., 2002] použili podobnou klasifikaci „měření“ a „porozumění“ nejistoty a identifikovali spojení těchto dvou aspektů jako výzvu při stanovování kvality samotného modelu. Renard a kolektiv [RENARD A KOL., 2011] identifikovali tři zdroje nejistoty: datovou nejistotu, nejistotu modelových struktur a „pozůstatek“ nejistoty vzhledem k nedostatkům v modelu. Ačkoli jsou typologie příbuzné, liší se do jisté míry sémanticky a také koncepčně. Prostorové explicitní modelování pomocí GIS je v současnosti velmi dobře rozvinuto [GOODCHILD A KOL., 1993; GOODCHILD A KOL., 2007], stále je však pro mnoho lidí velmi problematické přemýšlet nad mapami, které ukazují reálnou oblast, jako nad realizacemi výstupů modelů [FRANKLIN A MILLER, 2009] a vnímat chybu v mapě jako statistickou nebo analytickou chybu raději než chybu kartografickou [GOODCHILD, 1988; GOODCHILD A GOPAL, 2003].

Často je také diskutabilní vztah mezi „přesností“ a „nejistotou“. Tyto termíny mohou být například použity jako nepřesnosti vztažené k obecnému pojmu. Nejistoty se pak týkají konkrétních případů, kdy není nepřesnost známa [HUNTER A GOODCHILD, 1993]. V tomto případě platí, že pokud je nepřesnost objektivně známa, může být vyjádřena jako chyba. Další autoři pak považují chybu jako část nejistoty, kde je chyba definována jako

rozpor mezi danou hodnotu a jeho modelovanou a simulovanou hodnotou [PANG, 2001], což koresponduje s výše uvedeným dělením. Z jiného dělení lze pak odvodit rozdělení na pozitivní aspekty nejistoty jako ty, které se týkají přesnosti, a negativní aspekty nejistoty, zabývající se chybami [BUTTENFIELD A BEARD, 1994]. Toto pojetí bude poté detailněji řešeno v kapitolách týkajících se kvality prostorových dat. K dispozici je také názor, který rozlišuje mezi nejistotou, která je jevům vlastní, tzv. neurčitostí, a nejistotou v tvrzení tohoto jevu, jako je nejistota měření funkce [PLEWE, 2002]. Přes různé pojmy nejistoty a rozmanité použití tohoto termínu tedy panuje obecně přijímaná shoda, že nejistota je chápána jako složení několika pojmů a konceptů. Existují publikace, které se definicí nejistoty zabývají mnohem detailněji. Jako příklad lze uvést publikace Klira a Wiermana [KLIR A WIERMAN, 1999] a Thomsona a kolektivu [THOMSON A KOL., 2005].

Z výše uvedených skutečností zcela jednoznačně vyplývá, že pojem nejistota je vždy oborově specifický a navíc s problematickým vymezením. Nejistota se tak stává zobecněným pojmem, skýtajícím celou řadu dílčích pojetí a dělení. V rámci disertační práce bude tedy nadále používán termín nejistota jako zastřešující termín, který popisuje problémy vyvstávající z celé řady nedostatků, řešených při geoinformatickém zpracování, s hlavním přihlédnutím ke kvalitě prostorových dat. I přes uvedené skutečnosti se lze setkat s příklady, kdy je snaha o dokonalou přesnost či preciznost dosažena, přesto však dokonalé, nebo téměř dokonalé reprezentace, bývají spíše výjimkou než pravidlem. Mnohem častější je situace, kdy je prakticky nemožné v každém měřítku digitální reprezentace zachytit jednotlivý detail. Navíc odlišní jedinci nahlíží na svět různými způsoby a díky tomu je velmi obtížné určit jednu platnou a univerzálně přijímanou teorii [LONGLY, 2011]. Vzhledem k výše zmíněným problémům, a zejména s ohledem na různé faktory, které ovlivňují kvalitu a způsobují různé typy nedokonalostí geodat, bude výzkum zaměřen především na kvalitu, jako jeden z aspektů nejistoty. S tímto pojetím je pak spojená i samotná vizualizace v rámci environmentálních studií, jako finální a efektivní nástroj, kterak informaci o nejistotě prezentovat konečným uživatelům těchto dat.

4 KVALITA DAT

Tato kapitola pojednává o kvalitě prostorových dat jako o proměnné, která je využívána pro vizualizaci nejistoty v prostorových datech. Na začátku této kapitoly je proto nutné vymezit pojmy a vzájemné vztahy, se kterými se v celé práci a v textu pracuje a ilustrovat tak problematický a nejednoznačný pohled na data a informace s geografickými nebo prostorovými aspekty. Již samotné vymezení pojmu prostorová data je obtížné, často dochází k problémům s názvoslovím a správným pochopením samotného významu slovního spojení. V praxi se totiž nevyskytuje pouze tento pojem, ale celé spektrum pojmů, které nesou podobný a často zaměňovaný význam.

4.1 Informace, data, znalosti

Termíny *informace*, *data* a *znalosti* lze v běžném hovoru považovat za synonymní (jsou natolik příbuzné, že je prakticky nelze definovat jinak, než pomocí nich samých). Pro pochopení podstaty informace je však potřeba zamyslet se nad jejich odlišnostmi [JONÁK, 2003A; JONÁK, 2003B; JONÁK, 2003C]. Pro práci s těmito termíny v geoinformatice je velmi důležité uvědomovat si nevelké, ale často významné významové rozdíly.

Data představují reprezentace skutečností, pojmů nebo instrukcí (návodů, pokynů) ve formalizované podobě vhodné pro komunikaci, interpretaci a zpracování lidmi nebo automatickými prostředky [RAPANT, 2006]. Data jsou opakovatelná reprezentace informace formalizovaným způsobem, vhodným pro komunikaci, interpretaci nebo zpracování [ŠÍMA, 2003]. Pojem *informace* lze definovat jako znalost týkající se objektů, jako jsou fakta, události, věci, procesy nebo myšlenky, včetně koncepcí, která má v jistém kontextu zvláštní význam. Jedná se o význam, který člověk přisuzuje datům, nebo smysluplnou interpretaci dat a vztahů mezi nimi [ŠÍMA, 2003], kdy význam či hodnota přisuzované datům jsou informacím přiřazovány na základě vědomostí [BENDA, 2005]. Informace lze také definovat jako data, která mají smysl (význam), jsou sdělitelné (komunikovatelné) znalosti nebo představují „surovinu“, z níž se tvoří znalosti. V nejobecnějším slova smyslu se informací chápe údaj o reálném prostředí, o jeho stavu a procesech v něm probíhajících. Informace snižuje nebo odstraňuje neurčitost systému (např. příjemce informace). Množství informace je dáno rozdílem mezi stavem neurčitosti systému (entropie), kterou měl systém před přijetím informace, a stavem neurčitosti, která se přijetím informace odstranila [JONÁK, 2003B]. Jako *znalosti* lze definovat data, jejichž informace se nemění v čase, nejsou závislé na uživateli, a mohou tvořit mimořádně komprimovanou formu, a tím umožňují lidem i strojům, aby je efektivně uchovávali a manipulovali s nimi [BENDA, 2005]. Znalosti, využívané v každém oboru lidské činnosti, jsou charakterizovány dvěma složkami – dimenzemi [NONAKA A TAKEUCHI, 1995] a explicitní a tacitní složkou. Explicitní složku znalosti je možno vyjádřit grafickými (písmo a psaný jazyk, obrázek, noty, matematické symboly), fonickými (mluvený jazyk, zvuky apod.) a dalšími prostředky, nesoucími sémantický význam. S pomocí vhodných technických nástrojů lze explicitně vyjádřené znalosti ve vhodné podobě zaznamenávat a uchovávat, přenášet a transformovat. Kromě toho je možné tuto formu znalostí zpracovávat například kombinací s jinými znalostmi a vytvářet tak nové explicitní znalosti.

Tacitní složka znalostí je součástí dovedností, zkušeností, intuice, zásad, pravidel, principů, mentálních modelů a osobních představ konkrétního lidského jedince, případně skupiny lidí [NONAKA A TAKEUCHI, 1995]. Tato dimenze znalostí souvisí s činnostmi, postupy, zvyklostmi, nápady, idejemi, emocemi a hodnotami konkrétního člověka, případně skupiny lidí, a může navazovat nejen na vědomí člověka, ale také na jeho podvědomí. Podle jiného hlediska se znalosti z dané oblasti lidského vědění dělí na deklarativní a procedurální. Deklarativní (popisné) znalosti se týkají pojmů, využívaných v dané doméně pro označení a popis objektů a jevů. Deklarativní znalosti konstatují stavy, vlastnosti nebo vzájemné vztahy předmětných objektů, jevů a také procesů (aktivit, činností). Prostřednictvím deklarativních znalostí je možno odvozovat další znalosti a provádět operace, které se týkají znalostí procedurálních. Naopak procedurální znalosti vypovídají o (pracovních) postupech, tedy činnostech, procesech a aktivitách, které mohou v předmětné doméně probíhat. Takové postupy jsou spojeny se vznikem, existencí, transformací, chováním, uskutečněním či realizací objektů a jevů v dané oblasti. Lidská intelektuální činnost dokáže pracovní postupy popsat, vyjádřit a modelovat. Modelování lidské intelektuální činnosti vychází ze znalosti určitých pracovních postupů, tedy procedurálních znalostí.

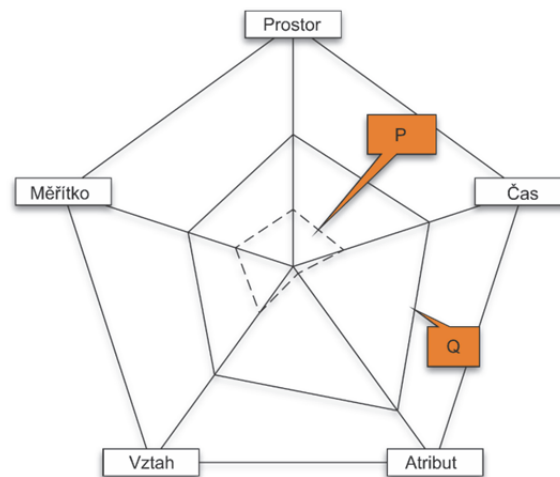
4.2 Prostorová data

Geografické jevy pro reprezentaci reálného světa vyžadují dva deskriptory, a to informaci o tom, co je reprezentováno, a informaci, kde se to nachází [BOROUGH A MCDONNELL, 1998]. V terminologickém slovníku zeměměřičství a katastru nemovitostí [PRAŽÁK, 2005 – 2013] lze nalézt termíny geografická data, geodata a geoprostorová data, a stejně tak i termíny geografická informace, geoinformace, geoprostorová informace, chápaná jako synonyma. V pojetí disertační práce je však nutné si uvědomovat jednotlivé nuance a významy konkrétních termínů. Pokud se jedná o data, která jsou vztažena k zemskému tělesu, lze používat přívlastky prostorový, geoprostorový, geografický a geo- bez omezení [ČERBA, 2010]. Pokud se jedná o vymezení prostoru v rámci vesmíru, je vhodnější se přiklánět k termínu prostorová data. Jako prostorová data (angl. *spatial data*) lze tedy označit všechna data, která se vztahují k určitým místům v prostoru, a pro která jsou na potřebné úrovni rozlišení známé polohy těchto míst [RAPANT, 2006]. Na základě těchto definic bude v disertační práci jako nevhodnější a zastřešující termín používán nadále termín *prostorová data*.

4.2.1 Dimenze prostorových dat

Jak bylo uvedeno, pojem prostorová data může být synonymem pro geografická data nebo geometrická data, kdy je popisována prostorová složka dat. Informace získané z prostorových dat mohou být od ostatních druhů informací považovány za odlišné díky jejich přirozené struktuře (pozice, atributy a čas), sémantiky a zvolenému geografickému měřítku [MAC EACHREN A KRAAK, 2001]. Tyto charakteristiky jsou při popisu prostorových dat obzvláště významné a každá entita v reálném světě je popsána právě pomocí těchto dimenzí. Tyto dimenze je navíc nutné vymezit pro pochopení a popis samotné nejistoty v prostorových datech. Prostorové objekty jsou v geoinformatické popsány pomocí dimenzí, kterými jsou [SHI, 2010]: prostor, čas, měřítko, atribut a vztah.

Na obrázku 4.1 jsou pro názornost objekty P a Q popsány právě pomocí jejich souřadnic dle zmíněných dimenzí. Pochopení tohoto konceptu a jednotlivých dimenzí následně ulehčuje vysvětlení významu pojmu *kvalita prostorových dat*, který je definován v dalším textu. Nicméně i tento koncept s sebou nese problémy, které jsou zapříčiněny především velkými objemy dat, komplexností základních vztahů a převážně samotnou povahou prostorových dat [GAHEGAN A BRODARIC, 2002; MILLER A HAN, 2001; OPENSHAW A ABRAHART, 2000].



Obr. 4.1 Objekty P a Q jsou definovány pomocí pěti dimenzí [SHI, 2009]

4.3 Kvalita prostorových dat

Pro určení a definování kvality prostorových dat je důležité pochopit, co slovo *kvalita* vlastně znamená. Navíc je také nutné pojem kvalita používat s velkou obezřetností, protože pojem nejistota a kvalita prostorových dat nejsou synonymy, i když v mnoha případech mají k sobě velmi blízko. Mají velmi podobné kategorie, řeší podobné domény a v řadě případů je kvalita s nejistotou zaměňována [BRUS A KOL., 2013B]. Nejistota je v tomto pojetí považována za vlastnost, která dovoluje posoudit jak dobré (kvalitní) jsou dostupné údaje, přičemž nejistota velmi výrazně ovlivňuje kvalitu prostorových dat. Základním a zásadním rozdílem je, že nejistota může být zavedena v kterékoli fázi výroby mapových podkladů a GIS analýz (pozorování, konceptuální modelování, měření, analýza, vizualizace a další), včetně samotného vnímání konečnými uživateli, a jako taková se netýká pouze kvality prostorových dat samotných, ale celého procesu přenosu geografické informace.

Pojem kvality a jeho obsah prošel a prochází dějinným vývojem a proměnou. Z tohoto pohledu je nutné ho rozklíčovat nejen v rámci daného kontextu a diskurzu vědního oboru, ale i vzhledem k jeho geneticko-sémantickému pojetí. Kvalitu tak lze v pojetí této disertační práce asi nevhodněji definovat jako každou jakost či vlastnost, která něčemu přísluší, nebo se k něčemu připojuje. Jako to, co uzpůsobuje věc k plnění účelu, ke kterému vznikla nebo byla založena [BRUGGER, 1994], kdy je kvalitou míněna především kvalita získané informace. Z tohoto úhlu pohledu lze za kvalitní informaci považovat takovou, která je užitečná a použitelná pro svého „spotřebitele“, kdy ve spojení s tradiční definicí

informace to v geoinformatice znamená, že kvalita informací je velmi závislá nejen na základních datech, ale zejména na samotném uživateli. Informaci s vysokou kvalitou je poté možné definovat jako „přesnou, důvěryhodnou a dostatečnou pro rozhodování uživatele“. Ve spojení s možností data (a informace) mnohoznačně interpretovat však do procesu vstupují i již zmíněné znalosti (tacitní, explicitní) a zkušenosti původce a příjemce informace, proto je zajímavé uvažovat také o efektivní kvalitě informací – skutečné užitečnosti, kdy důležitým faktorem jsou samotné schopnosti uživatele informace. Pro uživatele, kteří nemají dostatečné schopnosti, nebude informace kvalitní (užitečná), ale naopak může kvalita prezentované informace dokonce poklesnout. Tuto skutečnost také odráží běžně používaná definice kvality „vhodnost pro použití“ [BEARD A KOL., 1991; HUNTER, 1999; CHRISMAN, 1984]. V průmyslovém pojetí je kvalita ve své podstatě míra splnění výrobního procesu, je tedy funkcí nehmotných vlastností, jako je úplnost a konzistence, které jsou ovlivněny právě výrobním procesem [VEREGIN, 1998]. Na základě definice kvality vycházející z encyklopedického slovníku [WEBER A BUTTENFIELD, 1993] je na kvalitu pohlíženo jako na rozlišovací vlastnost, která umožňuje rozlišit, zda daná vlastnost má pozitivní nebo negativní charakter. Na základě tohoto dělení pak lze odvozovat dva další termíny – přesnost a chybu. Pokud má kvalita pozitivní charakter, lze ji měřit podobností od zvoleného modelu nebo reality, a výsledkem je již zmíněný termín přesnost. Naopak pokud se jedná o negativní přístup, ten je měřen rozparem, tedy chybou. Z pohledu geoinformatiky existuje celá řada dalších pojetí pro definici kvality prostorových dat, protože kvalita má vztah k celé škále datových charakteristik. Jednotlivé definice tak většinou odrážejí různé pohledy na samotnou terminologii pojmu a napříč autory se liší.

Od počátku vývoje kvality prostorových dat tvoří tato oblast klíčovou subdisciplínu geoinformatiky. Je jí přisuzován velký význam jak v oblasti akademických pracovišť, tak také ve vládních a průmyslových organizacích. Kvalita prostorových dat byla, je a bude nosným tématem velkého počtu konferencí a seminářů a mezinárodních aktivit (např. AGILE, GEOIDE, NCGIA a dalších). Nicméně celá tato disciplína s ohledem na nejistotu stále naráží na výše zmiňovaný problém, kterým je nejednotnost používaných definic a nepřesná terminologie. Uvedené lze demonstrovat na příkladu, kdy je položena otázka na téma definice „kvality dat“ a „nejistoty“ zástupcům vládních institucí a vědcům pracujícím na akademické půdě. Pravděpodobně by byly získány odlišné odpovědi, které by navíc byly nejednoznačné. Problém leží v samotné komunitě lidí zabývajících se kvalitou prostorových dat a nejistotou. Ve vědeckých článcích, odborných zprávách a studiích je velmi problematické identifikovat různé koncepty, které jsou pojmenovány stejně, nebo naopak stejné koncepty, které nesou odlišné názvy. Jak bylo uvedeno v předešlých kapitolách, pojmy jako nejistota, chyba, přesnost, vágnost a jejich interpretace vždy odrážejí vědní obor nebo komunitu, ze které dotyčný autor používající terminologii pochází. Z pohledu kvality a nejistoty prostorových dat lze v tomto pojetí také vysledovat dělení na dvě odlišné komunity lidí, zabývajících se primárně pouze kvalitou nebo nejistotou. Každá z těchto skupin navštěvuje „své“ konference jako International Symposium on Spatial Data Quality nebo International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. K mísení informací a výměně názorů mezi těmito skupinami většinou nedochází [DEVILLERS A KOL., 2010].

4.3.1 Standardy kvality prostorových dat

Geografické datové soubory popisují skutečný svět z různých úhlů pohledu a udávají přímý nebo nepřímý odkaz na zeměpisnou polohu. Jsou často sdíleny a používány také k jiným účelům, než pro které byly primárně vytvořeny. Informace o kvalitě prostorových dat jsou proto nezbytné pro výběr a správné používání, kdy cílem poskytovatelů těchto dat je co nejširší znovuvyužití [TÓTH A KOL., 2010]. Tohoto cíle je možné docílit pouze za splnění dvou předpokladů, kdy datové sady splňují předpoklady konečných uživatelů a stupeň, s jakým byly uvedené předpoklady naplněny, jsou plně zdokumentovány. Oba tyto aspekty vedly k formalizování kvality prostorových dat, které jsou řešeny v rámci velkého množství standardů a norem [BRUS, 2013]. V první řadě jsou ustanoveny požadavky uživatelů, které by měly být dodrženy během produkce nebo transformace. Druhý aspekt koresponduje s dokumentací kvality dat, která jsou distribuována uživatelům. Z obsáhlosti celé problematiky je níže uveden přehled nejzákladnějších standardů, norem a profilů, které se kvality prostorových dat týkají a mají vliv na oblast vizualizace nejistoty. Z pohledu mezinárodní platnosti vznikaly konkrétní standardy především v rámci *Mezinárodní organizace pro normalizaci* (ISO) proto je v následujícím textu uvedena jako první. Nicméně z pohledu kartografie byl přelomový rok 1987, kdy *Národní komise pro digitální kartografické datové standardy* (NCDCDS) [MOELLERING, 1987] navrhla definici, která popisuje prostorovou kvalitu dat tím, že ji rozdělila do pěti kritérií (jedné kvalitativní a čtyř kvantitativních): rodokmen, polohovou přesnost, sémantickou přesnost, úplnost a logickou konzistenci. Toto dělení se stalo základem pro mnoho nově vzniklých norem. V návaznosti na toto dělení pak výkonný výbor *Mezinárodní kartografické asociace* (ICA) v roce 1991 založil komisi o kvalitě údajů [GUPTILL A MORRISON, 1995]. Tato komise měla za cíl rozvíjet, dokumentovat a zveřejňovat kritéria a metody pro hodnocení souborů digitálních kartografických dat, kdy v rámci tohoto úkolu definovala tři části v používání a specifikacích kvality prostorových dat:

- definice prvků kvality prostorových dat,
- vytvoření metriky pro měření prvků kvality prostorových dat,
- komunikace údajů kvality.

ISO standardy v procesu zajištění kvality geografických produktů

Asi nejnámější norma týkající se kvality, která je v povědomí veřejnosti velmi rozšířená, je norma ISO 9001, týkající se požadavků na systém řízení kvality, za kterou stojí *Mezinárodní organizace pro normalizaci* (ISO). Z pohledu geoinformatiky a kvality prostorových dat jsou však zcela zásadní jiné normy, a to ty, které vznikly pod patronací komise ISO/TC 211. Z pohledu kartografie je v této oblasti významná také *ICA Commission on Geoinformation Infrastructures and Standards*, která blízce spolupracuje právě s ISO/TC 211. ISO/TC 211 je standardizační technická komise s cílovou oblastí zaměřenou na geografickou informaci a geomatiku. Výsledkem práce této komise je řada norem ISO 19100 vytvořených za účelem definování, popisu a správy geografických informací [KRESSE A FADAIE, 2004]. Normy řady ISO 19100 upřesňují metody, nástroje a služby pro správu informací, s cílem usnadnit rozvoj geoinformačních a aplikačních systémů. Skupina ISO/TC 211 vyvíjí standardy pro vyhledávání a používání geografických informací nezávisle na platformě. Neřeší pouze technické a sémantické otázky, ale také metadata,

kteřá hrají v porozumění a převodu dat klíčovou roli. Problematika metadat bude z tohoto důvodu v textu dále rozebířána především s ohledem na jejich potenciál možné vizualizace jako nositele údajů o kvalitě dat. Pro přehlednost jsou v následujícím textu uvedeny nejdůležitější ISO normy, které se kvality prostorových dat týkají, kdy překlady jednotlivých norem do českého jazyka byly zajištěny *Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví*, a mají stejný statut, jako oficiální verze.

Specifikace produktu – Data product specification (ISO 19131)

ISO 19131 [ISO, 2007] vymezuje požadavky na specifikaci produktů geografických dat, založené na pojetí jiných norem z řady ISO 19100. Poskytuje také pomoc při vytváření specifikací o konkrétním produktu. Požadavky jsou na základě této pomoci snadno pochopitelné a vhodné k jejich zamýšlenému účelu. Norma obsahuje informace o vytvoření specifikace datového produktu, terminologii, zkratkách, názvu a akronymu datového produktu a zahrnuje také informační popis datového produktu.

Zásady jakosti – Quality principles (ISO 19113)

ISO 19113 [ISO, 2002] stanovuje zásady pro popis kvality geografických dat a specifikuje prvky pro hlášení informací o kvalitě. Poskytuje také přístup k organizování informací o kvalitě dat. Ačkoliv je ISO 19113 použitelná převážně pro digitální geografická data, lze její zásady rozšířit na mnoho jiných forem geografických dat, jako jsou mapy, grafy a textové dokumenty. Velký počet komponentů kvality prostorových dat, které jsou dále rozebířány v následujícím textu, lze nalézt právě v této normě. Jedná se o především o komponenty kvantitativní (účel, použití, rodokmen) a komponenty nekvantitativní (tematická, časová a polohová přesnost, úplnost a logická konzistence).

Metody hodnocení kvality – Quality evaluation procedures (ISO 19114)

ISO 19114 [ISO, 2003A] poskytuje rámec postupů, které jsou použitelné pro digitální geografické datové sady, a to pro zjišťování a hodnocení kvality. Postupy jsou v souladu s principy kvality dat tak, jak jsou definovány v ISO 19113. Návrh navíc stanovuje rámec pro vyhodnocování a ohlašování výsledků kvality dat pomocí metadat nebo jako hodnotící zprávu o jejich kvalitě. Metody v této normě lze rozdělit na přímé a nepřímé.

Metadata (ISO 19115)

ISO 19115 [ISO, 2003B] definuje schéma potřebné pro popis geografických informací a služeb. Poskytuje informace o identifikaci, rozsahu, kvalitě, prostorovém a časovém schématu, územním rozhodnutí a distribuci digitálních geografických dat. ISO 19115 konkrétně definuje povinné a podmíněné sekce metadat, metadata objektů a metadata prvků, minimální soubor metadat potřebných k definování metadat aplikací v jejich plném rozsahu (údaje o vzniku, určení vhodnosti dat pro použití, přístup k datům, přenos dat a využití digitálních dat), volitelné prvky metadat s cílem umožnit rozsáhlejší standardní popis geografických dat (je-li vyžadováno) a metody pro rozšíření metadat, pro řešení speciálních potřeb. Velmi zajímavá je možnost vzniku tzv. profilů, které mohou být

připraveny na míru určitým specifickým podmínkám (např. profesní, národní). Standard nabízí pravidla, jak takovéto profily vytvářet tak, aby byly kompatibilní se svým mateřským standardem [RŮŽIČKA, 2007].

Měření kvality dat – Data quality measures (ISO 19138)

Tato norma definuje soubor opatření týkajících se kvality údajů a poskytnutí správných a standardizovaných metod pro měření kvality prostorových dat [ISO, 2006]. Norma definuje seznam měření pro kvantifikaci prvků kvality podle ISO 19113. Jejím cílem je vybudování registru výsledků při měření kvality produktů. Tato norma specifikuje povinné elementy: název, prvek kvality, podprvek, definice a typ hodnoty kvality dat.

Kvalita dat – Data quality (ISO 19157)

Z přehledu výše uvedených norem je zřejmé, že kvality prostorových dat se týká celá řada ISO norem a pro ucelený přehled problematiky je nutné mít o všech těchto dokumentech přehled. V rámci nově vznikající normy ISO 19157 [ISO, 2013] by však tyto normy měly být harmonizovány do jednoho nového celku. Nově vznikající norma rozšiřuje převážně normu ISO 19115. Tato norma je v současné době (březen 2013) stále ve stádiu návrhu. Pravděpodobně se však již nebude nijak výrazně měnit před tím, než se stane platnou.

Kromě ISO norem lze do problematiky vizualizace kvality prostorových dat zahrnout i další standardy, které se v této souvislosti používají. Často se však jedná o poupravené verze ISO norem, případně při jejich vytváření byly již zmíněné ISO normy využity, případně tyto standardy stály jako základní prvek při utváření ISO norem nových.

FGDC – SDTS

V roce 1994 byl v USA *Federálním výborem prostorových dat* (FGDC) včetně členů z oddělení *Amerických vládních federálních a nezávislých agentur* navrhnout standard s cílem podporovat a prosazovat sdílení geoprostorových dat a šíření informací o vývoji geoprostorových metadatových standardů. Obsah *Standardu pro digitální geoprostorová metadata* (CSDGM) [FGDC, 2008] je jedním ze standardů vypracovaných a schválených FGDC, který podporuje rozvoj národní infrastruktury prostorových dat (NSDI) tím, že poskytuje společný metadatový standard. FGDC má několik hlavních pilířů: přesnost, důslednost, úplnost a správnost metadat.

Snaha o formalizaci kvality prostorových dat vychází z dlouhodobého úsilí o vytvoření prostorových standardů přenosu dat (SDTS) [AALDERS A MORRISON, 1998; FEGEAS A KOL., 1992; MOELLERING, 1994]. SDTS poskytuje robustní systém pro přenos geodat mezi různými technologickými systémy s cílem snížit ztrátu dat. SDTS nese soubor standardů pro předání údajů o prostorových datech, attributech, georeferencování, zprávách o kvalitě, datových slovnících, stejně jako o dalších nezbytných metadatových prvcích. Metrika navržená v tomto dokumentu slouží jako koncepční rámec, kterým se řídí měření prostorových dat, kontrola jejich kvality, přístupnosti a použitelnosti. FGDC i SDTS slouží jako aplikační nástroj pro reálná měření a jejich implementace.

ANZLIC Metadata Profile

Australian a New Zealand Land Information Council (ANZLIC) je mezivládní orgán, který poskytuje vedení ve shromažďování, správě a využívání prostorových dat na území Austrálie a Nového Zélandu a stojí za vytvořením *Metadata Profile* (verze 1.1) [AG, 2007]. Tento standard je doporučený geoprostorový metadatový standard pro výše zmiňované oblasti. Australská *Spatial Data Management Group* potvrdila přijetí tohoto profilu v srpnu 2007, pro použití australskými vládními agenturami byl pak přijat v listopadu stejného roku. Státními útvary Nového Zélandu byl schválen až v červenci 2010 po předešlém období testování a konzultací. Profil umožňuje konzistentní sběr metadat (nebo informací o údajích) v oblasti Nového Zélandu a Austrálie. Profil definuje minimální soubor prvků, které musí být shromažďovány pro soubory prostorových dat, a další zdroje. Poskytuje tak flexibilitu pro zachycení více informací o datové sadě nebo zdroji dat, za účelem splnění specifických požadavků. Profil je založen na mezinárodních standardech ISO 19115 a ISO 19139 a nahrazuje starší geoprostorové metadatové standardy *Australian Government Metadata Profile* a *New Zealand Metadata Standard* (NZGMS) verze 1.2 [AG, 2007].

BS7567 – NTF (National Transfer Format)

National Transfer Format (NTF) [HAYWOOD, 1987] je formát souborů navržený v roce 1988 speciálně pro přenos prostorových informací. Jedná se o implementaci britského standardu SV7567. Je pod správou *Association for Geographic Information* (AGI) ve Velké Británii. NTF je nyní standardní formát přenosu dat pro *Ordnance Survey*, kdy byl po mnoho let používán právě při přenosu zeměpisných informací k zákazníkům. Existuje celá řada různých profilů NTF, které podporují různé typy dat včetně jednoduchého vektoru, komplexních vektorů a rastrů. Současná verze (2.0) je plně v souladu s SV7567.

OGC

Souběžně s prací již zmíněné ISO/TC 211 rovněž vytvořilo v geografické informační doméně soubor norem s využitím nových informačních technologií i *Open Geospatial Consortium* (OGC), přičemž standardy OGC jsou silně ovlivněny normami vytvořenými právě komisí ISO/TC 211. Hlavní přednost a originalita OGC vyplývá z prováděcích norem, jako je formát pro výměnu vektorových dat *Geographic Markup Language* (GML) [PORTELE, 2012], specifikace pro služby *Web Map Server Interface* (WMS) [BEAUJARDIERE, 2006] a *Web Feature Service* (WFS) [VRETANOS, 2005]. Přednosti lze nalézt také ve specifikacích katalogových služeb (CAT) [HOUBIE A BIGAGLI, 2010]. Tyto prováděcí normy realizují abstraktní normy ISO/TC 211, především pak ty, které se vztahují ke kvalitě a metadatům. Tyto implementace jsou také přebírány a zveřejňovány ISO/TC 211 jako normy nebo technické specifikace v momentě, kdy se dostanou do dostatečného stádia realizace.

INSPIRE

INSPIRE – Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe je iniciativou Evropské komise a současně se jedná o stejnojmennou směrnici Evropské komise a Rady, která si klade za cíl vytvořit evropský legislativní rámec potřebný k vybudování evropské infrastruktury prostorových informací. Stanovuje obecná pravidla pro založení evropské infrastruktury prostorových dat, zejména k podpoře environmentálních politik a politik, které životní prostředí ovlivňují. Právě v souvislosti se začleňováním směrnice INSPIRE do národních legislativ se vizualizace nejistoty opět dostává do popředí zájmu. Stále více základních i tematických datových sad souvisejících se životním prostředím bude popsáno metadaty obsahujícími vybrané prvky kvality, se kterými bude následně možno pracovat při vizualizaci [KUBÍČEK, 2011].

K základním principům směrnice INSPIRE patří [TRYHUBOVÁ, 2013]:

- Sbírat, vytvářet a spravovat data jednou na co nejefektivnější úrovni,
- bezešvě kombinovat data z různých zdrojů a sdílet je mezi nejrozličnějšími uživateli nebo aplikacemi,
- sbírat data na jedné úrovni a využívat je na jiných úrovních,
- poskytovat data za podmínek, které neomezí jejich rozsáhlé využívání,
- data a služby popsat metadaty pro jejich snadnější vyhledání a zhodnocení.

V otázce metadat a INSPIRE je nejdůležitějším dokumentem Nařízení Komise (ES) č. 1205/2008 ze 3. prosince 2008, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/2/ES, týkající se metadat, stejně jako Nařízení Komise č. 1089/2010 z 23. listopadu 2010, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/2/ES, pokud jde o interoperabilitu sad prostorových dat služeb prostorových dat. Důležitým dokumentem je také *INSPIRE Metadata Implementing Rules: Technical Guidelines based on EN ISO 19115 and EN ISO 19119*, verze 1.2 ze 16. června 2010. Vytvoření metadat pro soubory prostorových dat a služby založené na prostorových datech, odpovídajících tématům uvedeným v přílohách I, II a III, a pravidelnou aktualizaci těchto metadat, zajišťují členské státy Evropské unie. Ty musí zároveň zajistit jejich úplnost a dostatečnou kvalitu. Metadata musí být vytvořena do 2 let ode dne přijetí prováděcích pravidel v případě souborů prostorových dat odpovídajících tématům uvedeným v přílohách I a II, a do 5 let v případě souborů prostorových dat odpovídajících tématům uvedeným v příloze III.

To znamená, že metadata pro Přílohy I a II měly být vytvořeny nejpozději 24. 12. 2010, a pro Přílohu III do 24. 12. 2013. INSPIRE metadata se skládají z cca 20 metadatových prvků, pomocí kterých se uvádí základní popis datové sady, série datových sad nebo služby zabývající se geografickou informací [ŘEZNIK, 2013]. Z pohledu směrnice INSPIRE stojí metadata odděleně od vizualizace a propojení těchto konceptů se v INSPIRE standardizaci neřeší. Metadata jsou legislativně sice závazná, nicméně metadata popisující nejistotu jsou obsahem pouze technických návodů (technical guidelines). Z tohoto důvodu se na ně legislativní závaznost nevztahuje. Navíc otázku kartografické vizualizace INSPIRE legislativa vůbec neuvažuje. Vizualizace jsou řešeny pouze na legislativně nezávazné úrovni již zmíněných technických návodů, kdy navíc problematika vizualizace nejistoty není obsahem ani těchto technických návodů.

CEN

Evropská standardizace všech oblastí je spravována *Evropskou komisí pro standardizaci* (CEN – European Committee for Standardisation) se sídlem v belgickém Bruselu. Výjimku tvoří pouze obory elektrotechnika a telekomunikace, které mají svoje standardizační orgány (CENELEC a ETSI) [CENELEC, 2013]. Organizace CEN vznikla v roce 1961. V současné době má CEN 28 členů jak ze zemí Evropské unie, tak i ze zemí Evropského sdružení volného obchodu (EFTA – European Free Trade Association) a ze zemí, které jsou kandidáty na vstup do EU. K zajištění toho, že budou revidované mezinárodní normy členskými zeměmi ISO aktivně používány, je nezbytné nahradit národní normy a technické předpisy revidovanými mezinárodními normami. V evropském prostoru se proto ISO a CEN na základě Vídeňské dohody z roku 1991 dohodly na spolupráci, s cílem nahradit evropské normy mezinárodními normami. Ostatní země jsou požádány o uzavření podobných dohod, k zajištění toho, že jejich národní normy a technické předpisy budou nahrazeny právě mezinárodními normami. Z tohoto důvodu jsou normy v oblasti geografických informací vypracované technickou komisí 287 (CEN/TC287/WG02) připravovány v součinnosti společně s komisí ISO/TC 211.

4.3.2 Komponenty kvality prostorových dat

Kvalita prostorových dat je široký koncept, který byl zmiňovaný v předešlém textu. Z pohledu samotného vymezení jednotlivých komponentů kvality prostorových dat (obr. 4.2) lze vycházet z vymezení dimenzí prostorových dat uvedených výše v této kapitole a z hlavních komponentů kvality prostorových dat (tab. 4.1). Lze také vycházet z jednotlivých norem a standardů pro prostorová data, kdy jsou autory navrhovány různé komponenty kvality [ANTENUCCI, 1991; ARONOFF, 1989; BOROUGH A McDONNELL, 1998; VEREGIN, 1998].

Je všeobecně přijímáno, že kvalita prostorových dat je multikomponentní, a proto neexistuje pouze jedno pojetí prvků kvality prostorových dat. Tato skutečnost byla také částečně demonstrována i na větším počtu vzniklých standardů. I přes částečnou různorodost standardů velký počet autorů vychází při definování jednotlivých parametrů převážně z norem ISO. V normách ISO však nejsou uvedeny všechny parametry, které se kvality prostorových dat týkají, proto následující část práce uvádí jednotlivé prvky kvality prostorových dat, které vycházejí z hlavních standardů a norem týkajících se kvality prostorových dat. Souhrnný přehled těchto prvků by však byl velmi obsáhlý vzhledem ke skutečnosti, že je možno definovat více než 30 prvků kvality prostorových dat [SHI, 2010]. Z pohledu vymezení prvků kvality a jednoznačné normalizace je důležitá již zmiňovaná nově vznikající norma ISO 19157, v rámci které lze oddělit tři základní komponenty kvality prostorových dat. Jedná se o datové prvky kvality a jejich deskriptory (parametry kvality), které jsou použity pro popis, jak dobře datová sada splňuje kritéria stanovená ve specifikaci produktu nebo požadavky uživatelů. Druhou složkou je přehled kvalitativních ukazatelů jako účel, použití a rodokmen v souladu s ISO 19115. Jako poslední je uvedena metakvalita, která popisuje kvalitu výsledků kvality v oblasti definované charakteristiky.



Obr. 4.2 Komponenty kvality dat

Tab. 4.1 Elementy kvality prostorových dat [SHI, 2010]

| | | Čas | Atribut | Měřítko | Vztah |
|----------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|---------|-------------------------|
| Přesnost | Polohová přesnost | Časová přesnost | (Tematická) atributová přesnost | — | — |
| Preciznost | — | — | — | — | — |
| Spolehlivost | — | — | — | — | — |
| Rozlišení | Prostorové rozlišení | Časové rozlišení | Tematické (obsahové) rozlišení | — | — |
| Logická konzistence | Prostorová konzistence | Časová konzistence | Doménová konzistence | — | Topologická konzistence |
| Úplnost | — | — | — | Úplnost | — |

Polohová přesnost

Polohová přesnost zahrnuje parametry přesnosti určení horizontální a vertikální polohy geoprvků v datové sadě. Tato přesnost určování geografické polohy závisí na měřických zkušenostech, použité metodě (např. fotogrammetrie, GPS) a na volbě kartografického zobrazení. V rámci této kategorie kvality prostorových dat lze rozlišovat přesnost relativní a absolutní. Relativní přesnost si lze představit jako měřítko toho, jak jsou k sobě navzájem umístěny objekty na mapě a ve skutečnosti. Vždy je tedy ve výsledku uvedena vzdálenost v metrech nebo centimetrech. Jako příklad lze uvést měření vzdálenosti mezi dvěma body na Zemi a měření vzdálenosti mezi identickými body na

mapě, kdy tato vzdálenost musí být v rozmezí určité relativní přesnosti. Relativní přesnost je tedy ukazatelem nebo měřítkem maximální přípustné odchylky (vzdálenosti nebo intervalu) mezi dvěma prostorovými objekty na mapě a identickými body na Zemi. Tuto proměnnou lze také definovat jako přimknutost relativních poloh vzhledů jevů v oblasti k jejich příslušným relativním polohám, které jsou pokládány za správné nebo jsou správné [ŘEZNÍK, 2012].

Absolutní polohová přesnost je indikátorem nebo ukazatelem toho, s jakou přesností jsou prostorové objekty umístěny na mapě s ohledem na jejich přesnou polohu na Zemi v absolutním referenčním rámci, například souřadnicový systém jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK). Jedná se o přimknutost vykázaných hodnot souřadnic k hodnotám, které jsou pokládány za správné nebo jsou správné [ŘEZNÍK, 2012].

Tematická (atributová) přesnost

Tematická přesnost posuzuje spolehlivost přiřazených hodnot prvků v datové množině ve vztahu k jejich skutečnému významu v „reálném světě“. Obecně zahrnuje údaje o klasifikační metodě, která byla použita k přiřazení hodnoty. Dále je zde uveden údaj o posouzení toho, jak přesně atributy odpovídají klasifikační metodě (obvykle se vyjadřuje v procentech). Důležité je také uvést vysvětlení, jakým způsobem bylo stanoveno posouzení samotné přesnosti, protože velmi často není možné posoudit konkrétní atributové vlastnosti s dostatečnou přesností. V těchto případech se využívá intuitivního odhadu očekávaného atributu nebo pravděpodobná maximální chyba na základě předchozích zkušeností. V mnoha případech se při určování atributů může jednat jen o subjektivní určení. Atributová přesnost tedy udává informaci o přesnosti všech atributů, které nemají polohový nebo časový charakter (nevyjadřují čas ani polohu) [OORT, 2005] a také vyjadřuje množství správně nebo nesprávně určených popisných údajů [IVÁNOVÁ, 2007]. Jako příklad lze uvést zjišťování ploch, jejichž kategorie Land cover je klasifikována jako „vodní plochy“. Plocha klasifikována do této kategorie může být mezi dvěma databázemi identická. Je však také možné, že bude v každé databázi klasifikována zcela odlišně. Atributovou přesnost lze v tomto případě zkoumat porovnáváním klasifikace těchto dvou zdrojů. Jeden zdroj je v tomto případě považován za referenční, a tedy i správný. S využitím výsledků testování je vytvořena čtvercová matice nesprávnosti klasifikace (tzv. misclassification matrix). Tato matice porovnává posuzované kategorie s hodnotami, které jsou v referenční databázi považovány za správné [CHRISMAN, 1991]. Výsledkem je správnost klasifikace, která porovnává třídy přiřazené ke vzhledům jevů nebo jejich atributů k universu diskurzu, kdy universem diskurzu je myšlen náhled na reálný nebo hypotetický svět, který zahrnuje vše, co je předmětem zájmu [PRAŽÁK, 2005–2013].

Časová přesnost

Tastan a Altan [TASTAN A ALTAN, 1999] popisují časovou přesnost jako multikomponentní parametr, který zahrnuje několik dílčích složek. Obecněji, jako parametr jakosti popisující přesnost časových aspektů geografických dat, popisuje časovou přesnost slovník VÚGTK [PRAŽÁK, 2005–2013].

Z prvků časové přesnosti lze vymezit správnost a přesnost, kterými jsou uvedeny chyby v měření. Z hlediska platnosti prvků v čase lze odvodit časovou platnost, kdy je důležité mít na paměti, že se mohou sledované prvky v čase měnit. Lze také vymezit přesnost časového měření a časovou validitu. Časová přesnost se tedy týká informací popisujících datum pozorování, druh aktualizace a časový interval, po který jsou záznamy prostorových dat platné [ISO, 2002]. U některých typů prostorových dat má tento parametr zvláštní důraz převážně u kategorií, které se neustále mění (např. kategorie Land cover), kdy kvalita dat přímo závisí na aktuálnosti údajů.

Primární problémy týkající se časových údajů kvality dat souvisí s ověřováním a validací dat. Je nutné udržovat podrobný historický audit aktualizací. CEN/TC287 a ISO/TC211 obsahují element, který se nazývá časová přesnost, ICA tento element nazývá časová informace a SDTS tento element vůbec neobsahuje.

Sémantická přesnost

Sémantická přesnost se týká významu věcí v realitě a vztahuje se proto k významu geografických objektů a ne k jejich geometrické reprezentaci. Sémantická přesnost atributu se zabývá tím, jak dalece hodnoty daného atributu odpovídají skutečnosti.

Úplnost

Úplnost popisuje vztahy mezi objekty reprezentovanými v GIS a universem všech těchto objektů. Úplnost dat se týká na jedné straně objektů v datové sadě a na straně druhé atributů těchto objektů, přičemž popisuje nesoulad mezi daty uloženými v datových bázích a daty potřebnými k popisu (např. generalizovaného vyjádření objektu). Úplnost je možné hodnotit z hlediska prostoru, času i tematického obsahu. Vymezuje se přidání a vynechání, kdy data v množině dat vůči předepsané oblasti chybí nebo naopak přebývají nad popsanou oblast. Úplnost se tak vztahuje na problematiku přidání nebo vynechání vztahů mezi objekty jednak v modelovaném světě, ale také mezi objekty v modelovaném světě a objekty v realitě. Lze vymezit úplnost údajů, ale také úplnost modelu.

Logická konzistence

Logická konzistence se zabývá věrností vztahů zakódovaných v datové struktuře prostorových dat a udává úroveň rozporných nebo vícečetných dat pro popis daného geopravku nebo jevu. Vymezuje se konceptuální bezespornost (dodržení pravidel konceptuálního schématu), doménová bezespornost (dodržení příslušnosti hodnot do hodnotových domén), formátová bezespornost (stupeň, v jakém jsou data uložena podle fyzické struktury množiny dat popsané oblastí) a topologická bezespornost (správnost explicitně zakódovaných charakteristických topologických vlastností množiny dat popsaných oblastí) [ŘEZNÍK, 2012]. Lze také rozlišovat prostorovou, časovou a tematickou logickou konzistenci. Časová konzistentnost například udává správnost uspořádaných událostí nebo sledu událostí, pokud jsou vykazovány. Logická konzistence je definována v SDTS jako „věrnost vztahů zakódovaných v datové struktuře“.

Správnost

Tento prvek kvality prostorových dat udává míru správnosti, tedy s jakou spolehlivostí jsou data reálného světa zaznamenána do prostorové databáze. Jedná se o míru shody mezi reprezentací reality a prostorovou databází. Jako topologickou správnost lze uvést správnost jednoznačně kódovaných topologických charakteristik datové sady podle popisu v rozsahu [EC, 2010].

Rozlišení

Rozlišení lze zjednodušeně definovat jako množství a hodnoty detailů, které jsou v zájmovém území rozlišovány v prostoru, čase i tématu. Rozlišení je v tomto pojetí konečné, protože nelze dosáhnout absolutní přesnosti. Z tohoto tvrzení lze odvodit definici, že prostorová databáze s nižším rozlišením je méně přesná. Z pohledu rozlišení reprezentace prostorových objektů lze u rastrové reprezentace uvést pixel jako nejmenší jednotku, analogicky je u vektorové reprezentace nejmenší jednotkou velikost objektu. Z těchto informací lze poté odvodit vztah, že dvě databáze se stejnou přesností, ale různými úrovněmi rozlišení, nemají stejnou kvalitu. Tematické rozlišení udává míru přesnosti měření nebo kategorizace konkrétních dat [VEREGIN, 1998]. Lze takto definovat jemnost dělení nebo prostorové rozlišení s ohledem, zda jsou zpracovávána kvantitativní nebo kvalitativní data. Z pohledu časového lze na rozlišení pohlížet jako na četnost jednotlivých sběrů dat.

Původ

Původ dat vyjadřuje historii zpracování a celkovou kvalitu datové sady nebo série. Kde je to vhodné, může tento prvek uvádět, zda byl datový soubor ověřen a jeho kvalita zajištěna, zda se jedná o oficiální verzi (pokud více verzí existuje) a další. Původ by měl mnohem přesněji popsat informace o událostech v životním cyklu datové sady, včetně způsobu vytvoření (např. na základě přímého měření, odvozením z již existujícího kartografického díla či datové sady, digitalizací nebo jiným způsobem) [ŘEZŇÍK, 2012]. Původ tedy udává všechny zdroje a metody sběru a tvorby prostorových dat [IVÁNOVÁ, 2007]. V původu by měly být uvedeny všechny osoby nebo organizace, které jsou odpovědné za sadu dat, datum a způsob sběru dat a tvůrce původních zdrojových dat, včetně kontaktů, a měl by tvořit základní a minimální prvek kvality prostorových dat. Na základě původu dat lze dohledat i osoby nebo organizace odpovědné za případné chyby v datové sadě [SHI A GUO, 2002]. Specifikaci původu datové sady by měla být věnována mimořádná pozornost. Součástí původu by měly být také podrobné údaje o zdrojích dat, metodách pořizování (sběru), zodpovědných osobách a důvodech vytvoření datové sady [RŮŽIČKA, 2007].

Účel

Tento prvek kvality prostorových dat přímo navazuje na původ prostorových dat. Účel určuje zdůvodnění tvorby datové sady včetně informací o předpokládaném užití. Užití pak popisuje aplikaci, která používá danou datovou sadu producentem nebo jinými uživateli.

Použitelnost (užití)

Tento prvek kvality prostorových dat, jak již bylo zmíněno, popisuje užití datové sady jejím producentem nebo jejími uživateli a aplikace, pro něž byla data použita [ISO, 2002]. Jednotlivá dílčí použití dat uživateli v minulosti mohou sloužit jako nová a velmi důležitá informace pro současné použití. Mají také velkou vypovídající hodnotu vzhledem k různým okolnostem. Důležité je pro každé použití vytvářet záznamy s uvedením organizace, způsob použité metody nebo chyby, které by mohly použití dat ovlivnit. Z hlediska opakovaného využití dat se jedná o velmi přínosnou informaci.

Rodokmen

Rodokmen prostorových dat zahrnuje popis zdrojového materiálu, ze kterého byla data odvozena, a metody použité pro jejich odvození. Tyto informace jsou velice důležité, protože ovlivňují všechny další prvky kvality dat. Rodokmen popisuje historii datové sady počínaje sběrem dat až po její sestavení, příp. odvození.

Metakvalita

V souvislosti s pojmem kvalita lze definovat i pojem metakvalita (metajakost), jak bylo uvedeno u nově vznikající normy ISO 19157. Hodnocení kvality s použitím jakéhokoli parametru umožňuje udělat si představu o odpovídajícím stavu datového souboru s ohledem na jeho jednotlivé prvky kvality. Jedná se o velmi důležitý ukazatel, který se zabývá kvalitou určení (specifikací) jednotlivých parametrů kvality. Nejdůležitější z těchto údajů jsou data zpracování (časové hledisko), metody hodnocení použité u konkrétního souboru dat (testování, výpočet nebo odhad). Součástí prvků metakvality by měly být statistické souhrny údajů sloužících k určení příslušného prvku kvality [RŮŽIČKA, 2007]. V rámci metakvality lze dále vymezovat homogenitu a spolehlivost [CEN, 1998].

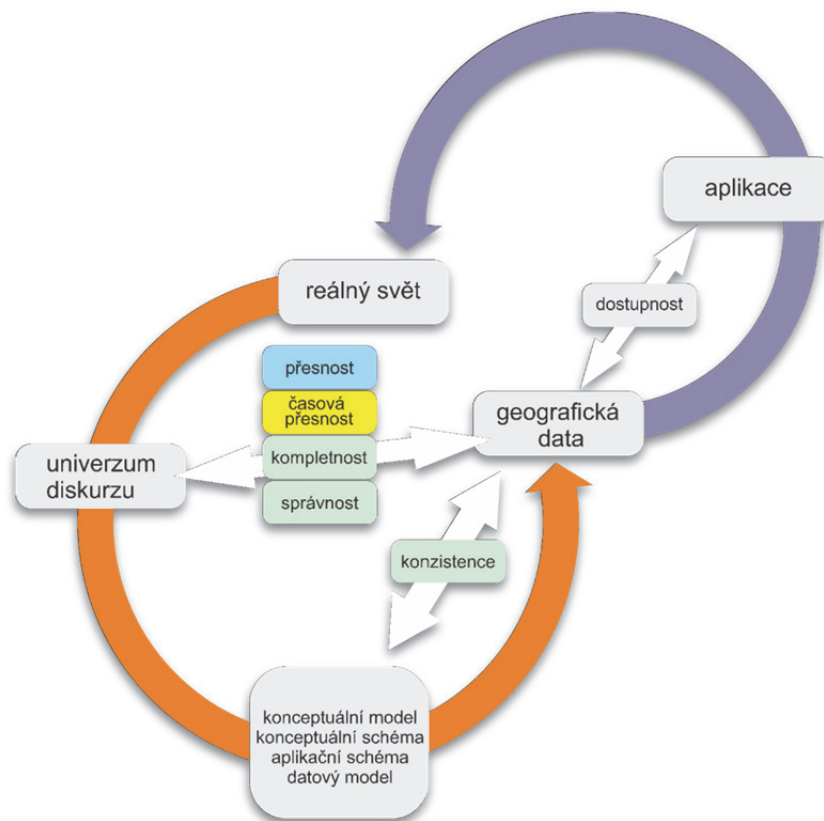
Homogenita

Jedním z nejdůležitějších prvků kvality, bez kterého by parametry kvality mohly být značně zkreslené, je homogenita (stejnorodost) dat. Častým případem je, že celá datová sada má například polohovou přesnost menší než určitý limit, ale v rámci datové sady existují oblasti, kde je daný limit překročen. Daný parametr kvality není stejný v celé datové sadě a součástí metadat by měla být tato informace uvedena. Obvykle je vhodné tyto údaje uvádět přímo jako součást příslušného parametru kvality. Údaje o homogenitě jsou svázány se všemi parametry kvality a jsou nedílnou součástí prvků metadat.

Spolehlivost

Spolehlivost je jedním z prvků metakvality, popisující pravděpodobnost, s jakou lze daný vzorek geografických dat, je-li používán pro účely hodnocení kvality, pokládat za reprezentativní. Statistická metoda postavená na vzorkování může být považována za statisticky významnou, pouze pokud jsou ve vzorcích zahrnuty všechny geografické zóny a vzorky pokrývají všechny časové periody.

Možný celkový pohled na jednotlivé pojetí charakteristik kvality prostorových dat ve vztahu k reálnému světu a universu diskurzu je uveden na obrázku 4.3. V tomto pojetí se používání geografických dat provádí na základě aplikací, které mají vliv na reálný svět. Na základě diagramu je znázorněno spojení jakostních charakteristik. Jakostní charakteristiky jsou přesnost, časová přesnost, kompletnost a správnost, přičemž definují spojení mezi geografickými daty a universem diskurzu. Přímé napojení k reálnému světu by v tomto případě nemělo smysl, protože pouze charakteristiky, které jsou komponenty universa diskurzu, mohou chybět nebo být nesprávné. Přesnost stojí jako pojítko mezi geografickými daty a universem diskurzu a popisuje omezení vzniklé měřením a interpretací. Konzistence je důležitá pro spojení geografických dat s modely a schémata. Dostupnost je poté definována jako jeden z prvků kvality právě díky vztahu geografických dat a aplikací [WILTSCHKO A KAUFMANN, 2004].



Obr. 4.3 Závislosti mezi charakteristikami kvality dat a geoinformatickým modelováním

[WILTSCHKO A KAUFMANN, 2004]

Jak je popsáno řadou odborníků (např. [DILLO, 2006; SMETS, 1996]), může být kvalita dat ovlivněna různými faktory, které mohou vést k různým typům problémů v datech [DILLO, 2006]. Geodata a geoinformace jsou dostupné především ze zdrojů subjektů, které tato data pořizují, aktualizují, vedou a poskytují ostatním subjektům. Navíc podstatná část celkového objemu geodat je soustředěna ve veřejné správě [ČADA, 2001]. V tomto případě je kvalita dat přímo úměrná důležitosti rozhodnutí, které je prováděno právě nad těmito prostorovými daty. Nezbytné je o tom vědět, kontrolovat procesy, kde nepřesnosti vznikají, a evidovat dostatek informací pro následná rozhodnutí [TUČEK, 1998].

Z výzkumů různých odborníků [DEVILLERS A JEANSOULIN, 2006; HUNTER A KOL., 2003; OORT, 2005] vyplývá, že kvalita dat může být ovlivněna různými faktory, které mohou vést k různým typům již zmíněných nedokonalých dat. Kvalita je proto důležitým aspektem prostorových dat a umožňuje efektivní využití shromážděných údajů a informací [DILLO, 2006; HACK, 1997].

Z celé kapitoly tak lze odvodit závěr, že účely stanovování metrik kvality prostorových dat jsou mnohostranné. Jednoduše řečeno mohou stanovovat cíle dosažení kvality informací pro tvůrce dat, mohou stanovovat normy pro získávání, produkování a publikaci geodat, ve finále také mohou stanovovat techniky pro posuzování a oceňování kvality těchto dat. Tyto metriky také tvoří pravidla pro stanovení prahových hodnot pro odpovídající kvalitu v rámci profesní práce s daty.

Počáteční snahy o definování těchto metrik byly vyvíjeny s účelem vymezení kategorií „kvality dat“, které by měly být kódovány jako součást metadat kartografických dat. Jednotlivé definované kategorie (prvky kvality) byly alespoň částečně uvedeny v textu výše. Tato metadata kvality prostorových dat tak mohou být použita pro vyjádření určitých aspektů nejistoty, nenesou však žádnou informaci o způsobu jejich vizuální reprezentace. V kontextu s tímto tvrzením však stojí skutečnost, že právě rozhodovací procesy jsou téměř výlučně prováděny nad vizuálními reprezentacemi, kdy informace o jednotlivých metrikách a kvalitě dat ve výsledné vizualizaci nebo mapě chybí. Metadata jsou sice běžně používána jako základní prvky interoperability a standardizace, nicméně pokud by metadata byla nějakým způsobem sjednocena či přímo normována do jedné normy, otevírá se prostor pro vizualizaci celých metadatových sad [KOSHMAN, 2010]. Pokud by se navíc podařilo i přes uvedené komplikace vytvořit jeden fungující a všeobecně platný standard, stále bude platit, že vizualizace metadat přináší stejné druhy problémů jako zobrazování jakékoliv jiné složky dat. Navíc grafická reprezentace metadat je z tohoto pohledu velmi náročná a specifická, protože každá další vizualizovaná informace o metadatach nevyhnutelně zvyšuje složitost již vzniklých reprezentací. Problematická je také povaha metadat, které tvoří entity a vztahy různých druhů, navíc většinou s velmi komplexní strukturou [WARE, 2013]. V neposlední řadě zde stojí skutečnost, že metadata velmi často popisují celou datovou sadu, a z tohoto důvodu je velmi problematické vizualizovat jednotlivé objekty nebo atributy [DEVILLERS A KOL., 2005].

V návaznosti na tuto problematiku a problémy vzniklé při reprezentaci kvality dat uživatelům byl dále rozvíjen výzkum na poli vizualizace kvality prostorových dat a nejistoty, o kterém pojednávají další kapitoly disertační práce.

5 PRINCIPY VIZUALIZACE NEJISTOTY

Během historického vývoje kartografie se mapy staly nástrojem pro sdílení specifických znalostí. Jsou chápány jako jedinečný nástroj používaný pro různé účely, které mohou být široce seskupeny do dvou hlavních rolí. První je staví do role nástroje pro analýzu, řešení problémů a rozhodování [MAC EACHREN A KRAAK, 1997], zatímco druhá do role nástroje pro mezilidskou komunikaci a transfer myšlenek. Mapy jsou tedy jedinečné komunikační prostředky, které umožňují pochopit prostorovou strukturu informací mnohem lépe, než prostřednictvím slovního popisu, kde by bez pomoci vizuálního obrazu, při následném zpětném vybavování zobrazené skutečnosti, byl zapotřebí velký počet dalších deskriptorů a popisů [O'LOONEY, 2000].

Díky rychlému pokroku v oblasti výpočetní techniky, geoinformačních technologií a internetu byl v posledním desetiletí řadou kartografických vědců, vedených Alanem MacEachrenem [MAC EACHREN A KRAAK, 1997; MACEACHREN A MONMONIER, 1992], navrhnout nový způsob pochopení fungování map. Mapy přestaly být viděny jako pouhý nástroj pro komunikaci již známé informace a začaly být považovány jako nástroj pro pochopení neznámých vztahů v podstatě jakékoli informace, která má prostorový charakter. Snahy o vytvoření co „nejlepší“ mapy byly díky moderní počítačové grafice nahrazovány konceptem vytvoření reprezentace, která může být použita pro zodpovězení různých druhů otázek. Ty mohou být položeny jednotlivými vědci a mohou v datech odhalit dosud neprozkoumané vzory a vztahy. Tento nový přístup je nazýván jako *kartografická vizualizace* [MAC EACHREN, 1995; MAC EACHREN A KRAAK, 2001]. Na základě výzkumu v dalších oblastech, včetně počítačové grafiky, neurofyzologie, eye-trackingu, kognitivní psychologie a sémiotiky, bylo toto nové pojetí kartografie dále rozšiřováno a stále otevírá nové obzory pro další metody kartografického výzkumu.

Kartografické vizualizace, jak již bylo zmíněno v úvodu práce, mají potenciál stát se účinným nástrojem pro vyjádření kvality prostorových dat hned z několika důvodů. Jako první lze znovu uvést skutečnost, že mohou lidem pomoci s pochopením již známých chyb, jejichž velké množství je distribuováno prostorově. Z tohoto pohledu poskytují vizualizace rychlý a ideální mechanismus pro sdělování prostorové distribuce kvality dat. Ve srovnání s jinými metodami tak mohou čtenáře mapy mnohem jednodušeji zaujmout a upozornit jej na problematický aspekt prostorových údajů [GOODCHILD, 1994]. V druhé řadě poskytují prostředky pro objevování vzájemných prostorových vztahů, distribuci chyb ve vztahu k souborům prostorových modelů, procesů nebo teorií, a prostřednictvím vizualizací tak mohou uživatelé lépe chápat dopady proměnlivé kvality údajů na výsledky prostorových analýz. Na základě těchto informací pak mohou provádět rozhodování přesněji a efektivněji. Goodchild [GOODCHILD, 1992A] uvádí, že vizualizace jsou klíčem k účasti uživatelů při stanovování klíčových závislostních parametrů v prostorových statistických modelech nejistoty.

V posledním období jsou stále častější požadavky nejistotu v datech vizualizovat, kdy velký vliv na tuto skutečnost mělo i obecné přijetí nejistoty jako důležité složky dat [SCHNEIDERMAN A PANG, 2005]. I přes výzkumné snahy v tomto odvětví stále chybí návod, jak nejistotu vizualizovat tak, aby se tato činnost stala uživatelsky jednoduchou i pro širší skupinu uživatelů. Tradičně se informace o nejistotě zobrazují pomocí velmi omezených metod a pro dosažení konečného výsledku je navíc nutná kombinace různých softwarů, kdy

navíc pro nalezení vhodných metod a jejich implementaci je potřeba stále provádět uživatelské testování vzniklých reprezentací. Obecně platí, že výzkum na poli vizualizace kvality prostorových dat se primárně odvíjí od samotného definování nejistoty, rozvoje metod pro grafické znázornění těchto informací, vytváření vazeb mezi prostorovými složkami kvality dat a vizualizačními metodami. Jde o uživatelské hodnocení takto vzniklých vizualizací, kdy stále zůstává nezodpovězeno mnoho otázek vlivu použití konkrétních druhů vizuálních reprezentací na rozhodovací procesy.

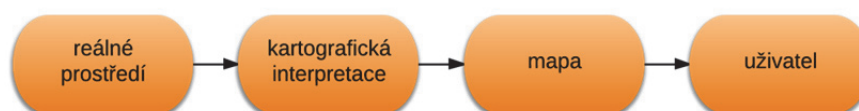
V této kapitole jsou proto řešeny především významy a základní teorie, které mají zásadní vliv na formování současného pojetí vizualizace nejistoty. Pozornost se primárně zaměřuje na otázky týkající se komunikačních modelů, kognice, percepce a sémiologie. Je zdůrazňována nutnost provádět výzkum nejen v oblasti samotných vizualizací, ale také realizovat výzkum, který rozvíjí konkrétní rámce a koncepty vizualizace kvality prostorových dat. Na základě tohoto přezkoumání je v dalších kapitolách disertační práce navržen rozšířený rámec vizualizace nejistoty navržený tak, aby odrážel jednotlivé hierarchické povahy prostorových dat a začlenil jednotlivé parametry kvality environmentálních dat v rámci případových studií jako základ vizualizací. Konkrétní vizualizační techniky byly zkoumány hlavně s ohledem na konstrukční požadavky a byla hodnocena především jejich schopnost informaci o nejistotě správně předávat konečným uživatelům.

5.1 Mapa jako komunikační prostředek

Jedním z klíčových témat informační vědy je vztah mezi daty, informacemi a znalostmi [ROWLEY, 2007]. V centru pozornosti stojí otázka, jak a kdy se ze „surových dat“ stávají informace a z informací znalosti. Když je prezentováno, že se operuje s informacemi, nutně to znamená, že v určitém vztahu jsou zpracovávány reprezentované objekty. V širším pojetí může být za informaci považován jakýkoliv subjektem vnímaný vztah, kdy je velmi pravděpodobné, že tento vztah může být nějakým způsobem reprezentován. Z tohoto pohledu lze tedy mapu považovat za grafický prostředek sloužící k předávání informace, respektive tzv. vizuální reprezentaci. Ta odkrývá nové souvislosti a nové pohledy na data. Jako ukázkou stále „nepřekonané“ historické vizuální reprezentace lze uvést Minardův „graf“ ztrát Napoleonovy armády při tažení do Ruska a následném ústupu [FRIENDLY, 2002]. Podle Eysencka a Keana [EYSENCK A KEANE, 2008] lze reprezentace dělit na vnější a mentální (vnitřní). Jako typické vnější reprezentace lze uvést reálné věci (mapa, fotografie, glóbus), mezi vnitřní reprezentace jsou řazeny všechny mentální (subjektivní) obrazy a představy o objektivní realitě.

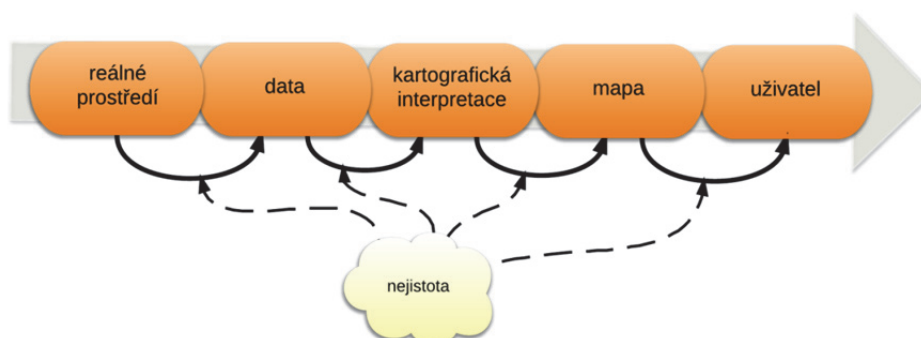
Po mnoho století bylo cílem kartografů dosáhnout co nejlepšího a „pravdivého“ zobrazení reality při zachování co největší objektivity. Reálné geografické prostředí bylo kartografem graficky znázorňováno do podoby mapy, která byla poté předložena uživateli. Kartograf tak pro zajištění úspěšné mapové produkce sledoval především zaběhnuté kartografické konvence, které byly v průběhu let neustále vyvíjeny. Často však byla tato činnost doprovázena pokusy a omyly, v historickém období navíc ovlivněna pouze chabými poznatky z výzkumu kognitivní kartografie. Podle MacEachrena [MAC EACHREN, 2004] byl výchozím modelem model navržený Robinsonem (obr. 5.1), na který v 80. letech navázali především autoři Board [BOARD, 1972] a Koláčný [KOLÁČNÝ, 1977], kteří vytvořili první modely kartografické komunikace, a jejich díla se stala výchozí pro mnoho dalších autorů.

Koláčný [KOLÁČNÝ, 1977] zdůrazňuje především dvojí pojetí procesu vytváření a užívání map. Z jeho pohledu je kartograf primárně odpovědný za zajištění možnosti s danou mapou efektivně pracovat. Kartografické učebnice z poloviny 70. let tak především zdůrazňují mapovací techniky (např. stanovování optimální velikosti pro proporcionální symboly), kdy vše vycházelo z předpokladu, že při zachování kartografických konvencí a objektivity může být informace doručena uživateli efektivně. Tento přístup vymezuje tvorbu mapy jako pětifázový proces. Za prvé je studovaný jev (např. hustota populace, výskyt konkrétních druhů v biotopu nebo teploty v daném měsíci) vzorkován a je sestavena datová sada. S využitím tohoto dělení pak kartograf vzniklou datovou sadu interpretuje na základě klasifikací nebo interpolačních schémat, kdy se klasifikace tematických map sestavují především s důrazem na jejich účel, obsah a zobrazované území [VOŽENÍLEK, 1999]. Nejčastěji používané způsoby třídění map jsou podle územního rozsahu, účelu, obsahu, měřítka, formy záznamu skutečnosti, koncepce vyjádření skutečnosti, způsobu vzniku a hlediska času [VEVERKA A ZIMOVÁ, 2008]. S využitím předešlých kroků se kartograf následně rozhoduje nad budoucím designem mapy, který by měl využívat aktuální poznatky, ctít kartografické zásady a pravidla, s cílem vytvořit „optimální“ reprezentaci dat.



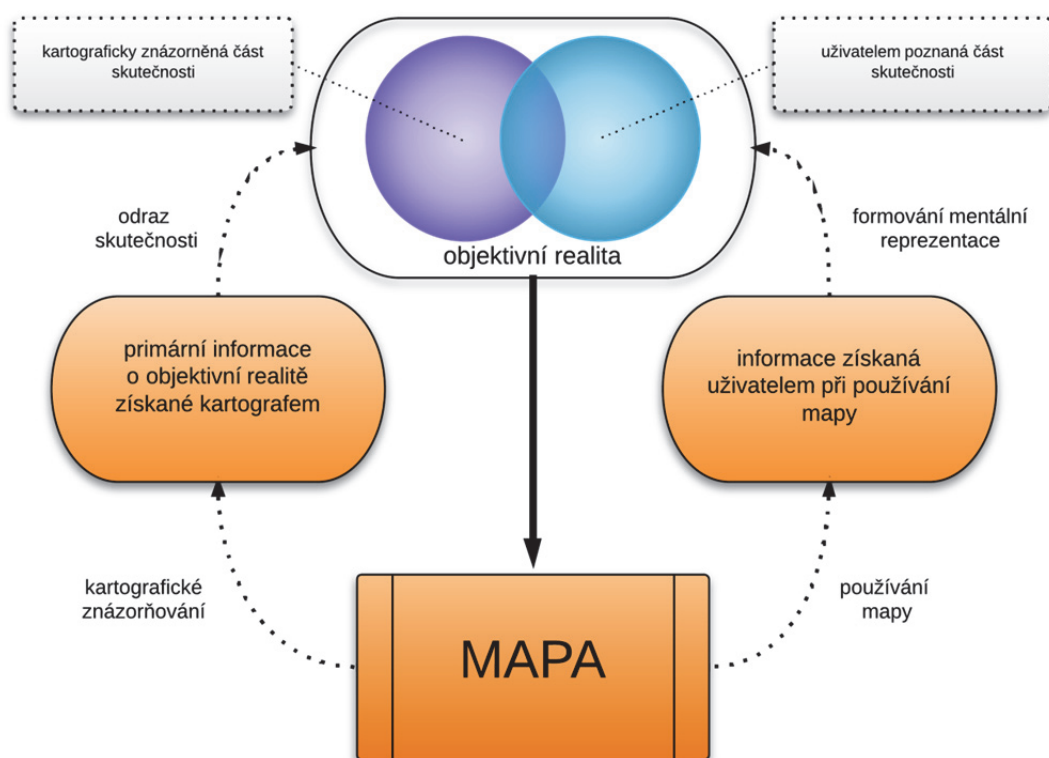
Obr. 5.1 Schematický popis kartografie jako prostředku pro komunikaci
– komunikační model mapy [ROBINSON A KOL., 1978]

Proces vizualizace tradičně zahrnuje několik disciplín a procesů jako například třídění, katalogizaci, analýzu informací a další. Posledním krokem tohoto konceptu je uživatelská interpretace studovaného jevu na základě mapy vytvořené kartografem. Nicméně při kartografické komunikaci dochází k velkému množství zkreslení a šumu, které v konečné fázi způsobují určitou rozdílnost představy o původním reálném prostředí mezi kartografem a uživatelem (obr. 5.2). Jednou z příčin této rozdílnosti může být výběr nevhodného vzorku dat, který nemusí být reprezentující. Navíc může docházet k dezinterpretaci dat kartografem, kdy je předána nepřesná informace o zkoumaném jevu. Možností vzniku nepřesností jsou také samotné interpretace, které nemusí být zcela úplné nebo přesné. Posledním možným místem vzniku nejistoty v tomto schématu je uživatel, který mapu nemusí správně pochopit.



Obr. 5.2 Komunikační model s vyznačenými místy, kde může docházet k šumu nebo nejistotě

Podle Hojovce [HOJOVEC, 1987] je možné celkový proces kartografické komunikace rozdělit do dvou základních fází (obr. 5.3). Samotné vytváření kartografického díla pomocí kartografických metod, kdy je tvůrcem mapy znázorňován odraz skutečnosti, patří do fáze první. I v této části procesu komunikace lze nalézt a identifikovat několik konkrétních vlivů, které mohou měnit výsledný kartografický produkt a způsobovat jistou formu nejistoty. Ve druhé části procesu je čtenářem mapy (uživatel) prováděna zpětná vazba, ve které je obsah mapy využíván k vytvoření či zdokonalení jeho představy o zobrazené skutečnosti. Je zřejmé, že i v této části kartografického procesu dochází k určitým šumům při přenosu požadované informace a z pohledu práce se i zde jedná o problémové místo. Podle Voženílka [VOŽENÍLEK, 2005] je celý proces komunikace navíc pozměněn v závislosti na rozostřující se hranici mezi kartografem a uživatelem mapy. Ta je způsobena především rozvojem interaktivních map, kdy jsou vizualizace používány jako nástroj pro interakci, zachycení dynamiky v datech a vytváření dat nových [KELLER A KELLER, 1993]. Uživatel mapy je tímto prostředím vtažen do celého procesu kartografické komunikace.



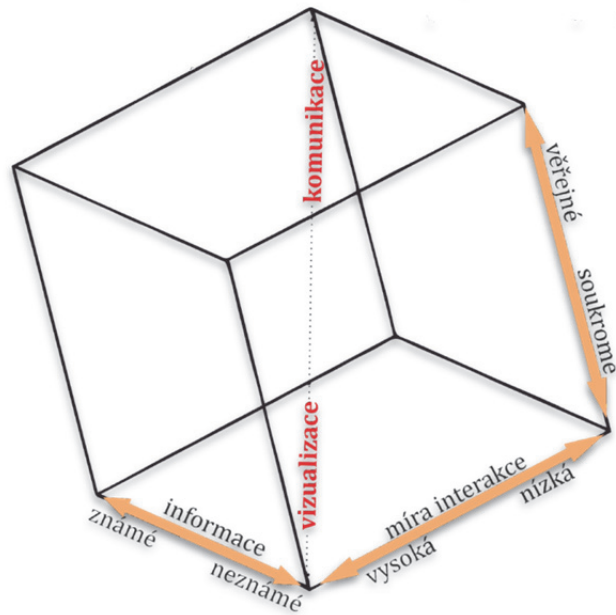
Obr. 5.3 Model kartografické komunikace znázorňující jednotlivé kroky a problémové oblasti při poznávání skutečnosti upraveno podle [HOJOVEC, 1987; KOLÁČNÝ, 1977]

V MacEachrenovském pojetí [MAC EACHREN, 2004] vztahu komunikace a vizualizace nejistoty je velmi důležité definování různých způsobů používání map pomocí trojrozměrného prostoru, který je nazýván také jako kartografická krychle (obr. 5.4). Ta je definována třemi osami, kdy první osou je prezentace známých a neznámých informací. Tato osa popisuje postup uživatele při čtení mapy a rozdílnost při hledání konkrétní informace nebo prozkoumávání dat. Druhá osa symbolizuje míru interakce a lze odlišovat mezi nízkou a vysokou mírou, která odráží možnosti měnit parametry vizualizace. Poslední

osa diverzifikuje mapy do dvou směrů jako mapy soukromé a veřejné. První forma reprezentuje mapy, které si uživatel sám vytváří podle svých aktuálních potřeb. Druhá forma představuje mapy, které jsou již předem vytvářeny s cílem prezentovat data široké veřejnosti. U této krychle nelze vymezit ostrý přechod, ale s přihlédnutím k extrémním situacím lze identifikovat konkrétní příklady, kdy na jedné straně stojí mapy sloužící převážně k rozšiřování (tj. komunikaci) určitých poznatků. Tato data většinou obsahují předem připravenou formu reprezentace, která je určena pro širokou veřejnost. Jako protipól stojí vysoce interaktivní mapy typicky vytvářené přímo uživatelem s cílem umožnit pochopení dosud neznámých skutečností. Uvedené lze shrnout následovně: vizualizace (ve smyslu vizuálního myšlení) jsou doplňkem komunikace (ve smyslu přenosu informace). Na základě vymezení těchto vztahů pomocí krychle se nabízí možnost souvislého měření podél tří uvedených os. Z tohoto pohledu jsou kartografické vizualizace užitím mapy v části krychle pro soukromé využití, odhalující nové informace s vysokou mírou interakce [KUBÍČEK A STACHOŇ, 2013]. Pohled na vztah mezi vizualizací a komunikací nastíněný MacEachrenem se ukazuje jako velmi vhodný pro řešení problémů spojených s vizualizací kvality prostorové informace. Volba použité reprezentace tak přímo vychází ze způsobu, jímž bude vytvářena mapa využívána. Kromě vymezení publikovaného MacEachrenem existuje celá řada různých definic a pojmů používaných při vymezení kartografické komunikace, každý s mírně odlišnými nuancemi jejich významu. Uvedenou problematiku sice lze podle různých autorů chápat odlišně, nicméně z obecného pohledu se všichni autoři odkazují na podobná schémata, kdy se jedná o proces přenosu informací vzniklých prostorovou analýzou a končící vždy určitým stupněm pochopení těchto dat. V této části práce je proto důležité definovat důležitý termín, a tím je explorační analýza (EDA). EDA je způsob analýzy dat, který má sloužit k tvorbě hypotéz, což jej odlišuje od přístupu klasické statistické analýzy, která testuje již předem vytvořené hypotézy. Podle Kubíčka je explorační analýza dat původně statistická metoda založená na kombinaci popisných a grafických statistických nástrojů, určených k odhalení určitých datových vzorů a podpoře hypotéz [KUBÍČEK A KOL., 2008]. Bailey a Gatrell [BAILEY A GATRELL, 1995] uvádějí, že „vizualizovat znamená mapovat“. Na základě velikosti způsobu manipulování s daty tak odlišují vizualizaci od explorační analýzy. Nicméně současně připouštějí, že hranice mezi těmito metodami jsou neostré. Haining, Wise a Signoretta uvádějí, že explorační analýza prostorových dat (ESDA) zahrnuje pouze jednoduché a intuitivní transformace dat, které umožňují extrakci informací pro generování hypotéz a hodnocení statistických modelů [HAINING A KOL., 2000].

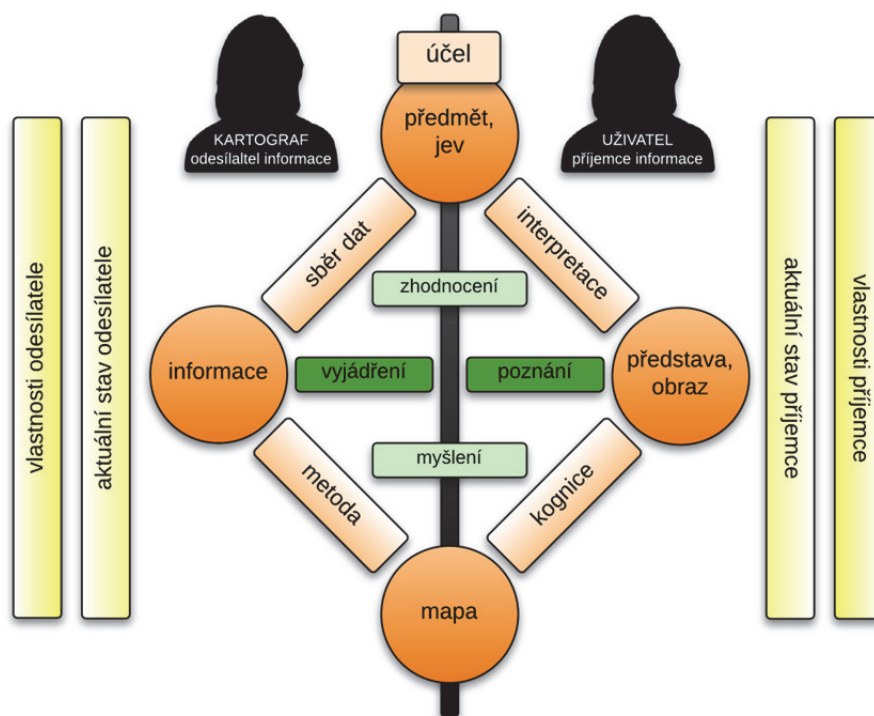
Dorling a Fairbairn definují nový pojem „vědecké vizualizace“ (SciVis) jako proces učení prostřednictvím tvorby abstraktních obrazů, které poskytují nástroj umožňující vidět jinak neviditelné vztahy a vazby [DORLING A FAIRBAIRN, 1997]. Cílem vizualizace v jejich pojetí je jít pomocí ilustrací nad rámec toho, co je známo, a snažit se objevit neznámé. Z pohledu jiných autorů jsou vizualizace mentálním procesem [WOOD A BRODLIE, 1994]. V tomto pojetí, které nazývají Visualisation in Scientific Computing (Visc), stojí vizualizace jako sada nástrojů, která umožňuje vizuální analýzu dat. Aby situace byla ještě komplikovanější Crampton používá termín geografická vizualizace (Gvis), kterou definuje schopnost mapy prozkoumat, analyzovat a vizualizovat prostorová data k lepšimu pochopení reality a souvislostí [CRAMPTON, 2001]. Asi nejbližší pojetí ke geovědám nabízí trojice autorů Dykes, Kraak a MacEachren [DYKES A KOL., 2005], kteří používají termín geovizualizace, kdy specifikují vizualizaci prostorových dat v pojetí zahrnujícím vizuální výzkum, analýzu,

syntézu a prezentaci geografických dat. Komplexnější přehled uvedených přístupů uvádí ve své práci Hallisey [HALLISEY, 2005].



Obr. 5.4 Znárodnění vztahu vizualizace a komunikace [MACEACHREN, 1995]

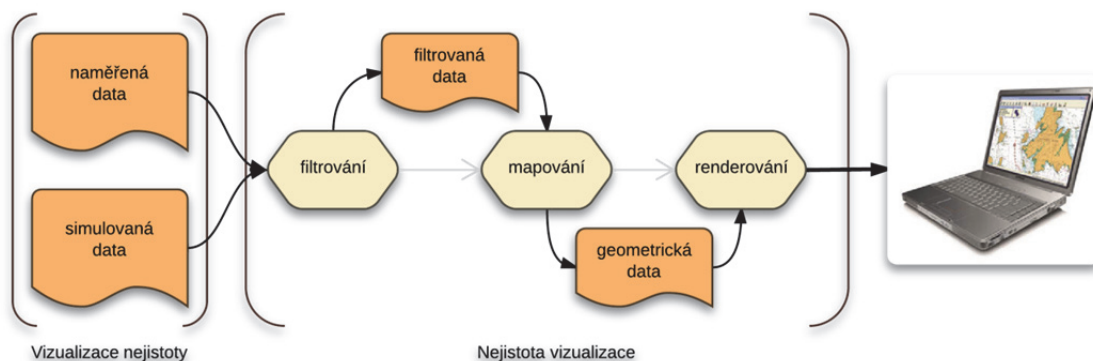
Teoretickým výzkumem v oblasti kartografické komunikace se kromě výše uvedených zabývá mnoho autorů, kteří si většinou všímají i dalších aspektů této problematiky. V rámci kontextu této disertační práce a z pohledu změny přístupu k novodobé kartografii je třeba připomenout také tzv. ubiktivní mapování (*ubiquitous mapping*), respektive ubiktivní kartografii, kterou lze podle Gartnera (současného prezidenta Mezinárodní kartografické asociace ICA) definovat slovy „*Studium, jak mohou být mapy tvořeny kdekoliv a kdykoli*“ [GARTNER A KOL., 2007]. Toto pojetí je odlišné od předcházejících vymezení, protože samotné mapě přisuzuje roli prostředníka mezi uživatelem a okolním světem [ŠTĚRBA, 2012]. Mapu je tedy možné vytvářet v jakémkoliv prostředí a pomocí různých nástrojů řešit prostorové úlohy a problémy. S tímto pojetím pracuje také japonský kartograf Morita [MORITA, 2004], v jehož modelu slouží mapa především k vizuální reprezentaci objektů a jevů v okolí uživatele. Plní funkci rámce pro lokalizaci uživatele a v neposlední řadě usnadňuje interakci mezi uživatelem a samotným prostředím. Moritův model (obr. 5.5) více než prosté komunikační modely zdůrazňuje účel mapy. V rámci modelu je důraz kladen na kognitivní procesy, zapojované během práce s mapou. Celý tento model v současnosti nabývá na aktuálnosti – děje se tak především vyčleňováním nové vědní disciplíny neokartografie, využívající právě ubiktivní kartografii [TURNER, 2006]. Tato část kartografie je významná především tím, že přináší tradiční kartografické a GIS dovednosti mnohem širšímu okruhu lidí [BOULOS A KOL., 2006] a tím demokratizuje předem výsadní postavení kartografů. Současně však odstraňuje potřebnou autoritativnost a důvěryhodnost vznikajících map, proto se zde opět otevírá prostor pro možnosti vizualizace nejistoty.



Obr. 5.5 Moritův model kartografické komunikace;
upraveno podle [MORITA, 2004; SLIVIAKOVÁ A KOL., 2009]

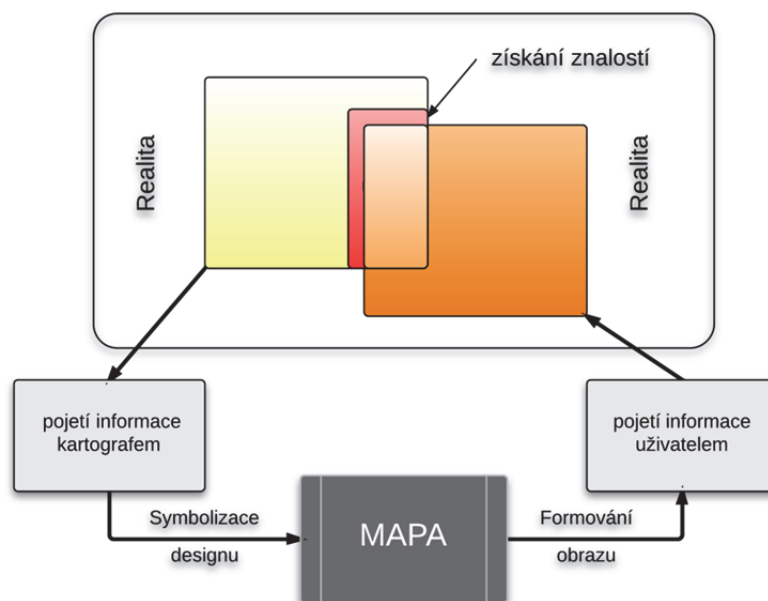
5.1.1 Mapa jako komunikační prostředek při vizualizaci nejistoty

Vývoj nových technologií přesunul zaměření kartografů od oblasti komunikačního modelu mapy ke konceptu kartografických vizualizací. Tyto vizualizace jsou však v současnosti téměř výlučně spojeny s digitální reprezentací dat. Z tohoto hlediska je nutné na celý proces tvorby mapy pohlížet i s přihlédnutím k této skutečnosti. Pro lepší pochopení tohoto procesu a pro prezentaci zdrojů nejistoty lze za referenční model pro vizualizaci nejistoty považovat model představený dvojicí autorů Haber a McNabb [HABER A MCNABB, 1990]. Na obrázku 5.6 je uveden tento rozšířený model jako ve schématické podobě připomínající potrubí. Do tohoto modelu vstupují data získaná měřením nebo simulacemi získaných dat. Prvním krokem je filtrování dat nebo tzv. rekonstrukce dat, kdy je snaha získaná data pomocí interpolací nebo aproximací modelovat. Výstupy této části modelu poté vstupují do mapovací fáze, ve které pomocí vizualizačních algoritmů vznikají geometrická data. V posledním kroku jsou pak vzniklá geometrická data pomocí renderování překreslována na výsledný obraz zobrazovaný na výstupním zařízení. Rendering obsahuje v závislosti na použitém softwaru mnoho parametrů a nastavení, kterými lze ovlivnit konečný vzhled. I ostatní autoři [CORREA A KOL., 2009; GRIETHE A SCHUMANN, 2006; LOPES A BRODLIE, 1998; PANG A KOL., 1997] jako výchozí referenční model pro vizualizaci nejistoty využívají tento koncept navržený právě Haberem a McNabbem. Nejistota v tomto pojetí vždy narůstá směrem zleva doprava a vyskytuje se ve všech částech modelu. Je také velmi důležité si uvědomit, že zatímco v první části se jedná o vizualizaci nejistoty, v druhé části, začínající fází filtrace, je vhodnější hovořit spíše o nejistotě vizualizace. Tento přístup bude dále rozvíjen v následující kapitole, která o tomto dělení pojednává detailněji.



Obr. 5.6 Haberův a McNabbův model: vztah mezi vizualizací nejistoty a nejistotou vizualizace; upraveno podle [BRODLIE A KOL., 2012; HABER A McNABB, 1990]

Zcela výsadní postavení při vizualizaci nejistoty měla práce a pojetí již mnohokrát zmiňovaného MacEachrena [MACEachREN, 2004], který svým vlastním modelem kartografické komunikace (obr. 5.7) nastínil koncept, se kterým většina autorů na poli vizualizace nejistoty pracuje a dále jej využívá. Velmi důležitou vlastností tohoto modelu je skutečnost, že lze v této souvislosti hovořit o tzv. přírůstku znalostí (knowledge gain), který může uživatel získat při čtení mapy. V porovnání s ostatními prezentovanými modely je zaveden proces, kdy při čtení mapy dochází k syntéze a integraci nových poznatků. Informace obsažená v mapě není z pohledu uživatele konečná, ale za předpokladu, že uživatel informaci využije i k poznání jiné části reality, může dojít k porozumění i jiných jevů, než těch obsažených v mapě. MacEachren [MACEachREN, 2004] se tedy vymezuje proti primárnímu chápání mapy jako kanálu pro přenos kartografické informace a chápe mapu jako jednu z možných reprezentací objektů či jevů v prostoru. Současně autor zdůrazňuje potřebu studovat percepční a kognitivní procesy, které probíhají jak při čtení mapy, tak při zpracování prostorové informace [ŠAŠINKA, 2012].



Obr. 5.7 Model kartografické komunikace navržený MacEachrenem; upraveno podle [MACEachREN, 2004]

5.2 Kognitivní aspekty vizualizace nejistoty kvality prostorových dat

Z pohledu disertační práce je také podstatné udělat si širší představu o prezentaci nejistoty v kontextu i jiných vědních disciplín, než je kartografie. Při zamyšlení se nad touto problematikou je totiž možné najít další atributy spojené s vizualizací nejistoty, které byly v předešlém textu zmíněny pouze částečně. Jak uvádí Weick [WEICK, 2001], bez ohledu na odvětví je třeba brát v potaz spíše vnímání konkrétního jedince než objektivní realitu. Tento postup umožní snáze pochopit vnímání nejistoty a s tím spojenou analýzu, modelování a další aspekty spojené s touto problematikou. V této části práce bude proto pozornost převedena k teoriím zaměřeným především na lidské faktory ovlivňující vizualizaci nejistoty.

V souladu s tímto přístupem je možné hovořit o kognitivním mapování, respektive kognitivní kartografii. Historii kognitivního výzkumu na poli geografie a kartografie lze vysledovat do 60. let minulého století. S počátkem vzniku a definování pojmu GIScience [GOODCHILD, 1992B] byl kognitivní výzkum aplikován i v rámci této disciplíny [MONTELLO, 2009]. Kognitivní kartografie reprezentuje výzkumný směr, který využívá koncepty a procedury kognitivní psychologie k odkrytí mentálních reprezentací a obrazů s cílem tyto obrazy hodnotit a s účelem získat geografickou informaci od jednotlivých uživatelů [BLADES A SPENCER, 1987]. V rámci tohoto přístupu je lidská psychika chápána jako systém zpracování informací. Na rozdíl od výpočetního přístupu, ctícího spíše kartografické tradice, kognitivní přístup klade důraz především na stranu uživatele. Jeho cílem je poskytnout vizualizace, které fungují v souladu s tím, co je známo o lidském vnímání a o poznávání geografického prostoru a jeho vizuální reprezentaci [FABRIKANT, 2001; FABRIKANT A BUTTENFIELD, 2001].

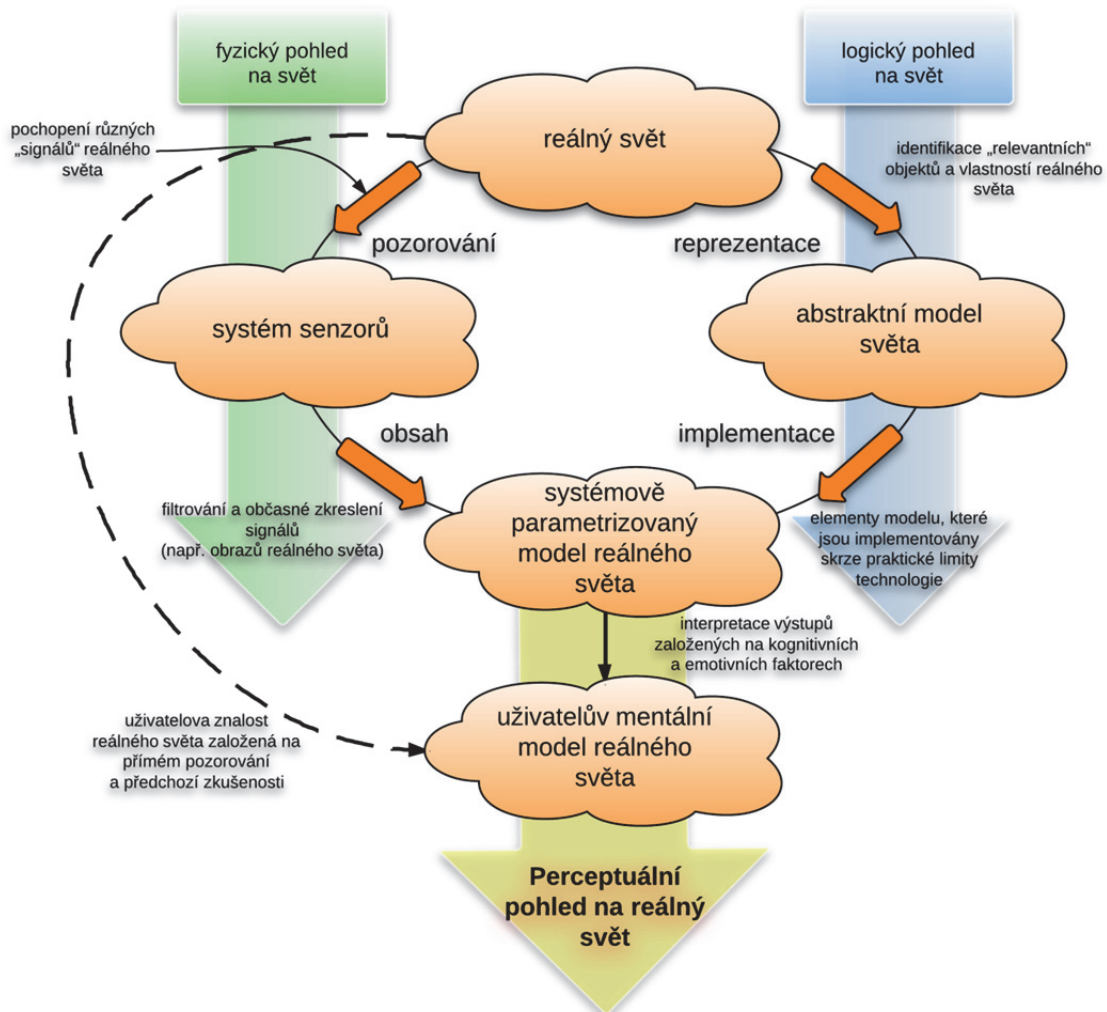
Přední odborník na kognitivní kartografii Montello [MONTELLO, 2002] se o výzkumu realizovaném v této oblasti vyjádřil jako o směru, který díky technologickému pokroku může napomoci rozvoji kartografie jako celku. V jeho pojetí kognice zahrnuje vnitřní mentální struktury a procesy zapojené do vnímání, pozornosti, myšlení a uvažování, učení, paměti a jazykové a nonverbální komunikace, kdy samotná kognitivní kartografie zahrnuje aplikaci kognitivních teorií a metod k pochopení a čtení map, mapování a použití mapy k pochopení kognice. Kognice zahrnuje percepci, učení, paměť, myšlení, uvažování a řešení problémů, včetně komunikace. Zahrnuje také externí symbolické struktury a procesy, například mapy nebo písemné postupy pro provádění formálních prostorových analýz, které napomáhají vnitřnímu poznání [MONTELLO, 1998; MONTELLO A KOL., 2004]. Z perspektivy kognitivní vědy, v rámci vědy informační, kam podle Peuqueta [PEUQUET, 2002] patří i kartografie, jsou smyslové konstrukce jednotlivých situací vytvářeny jednotlivcem, tzn. jedinec je aktivním činitelem. Jedinec je z tohoto pohledu aktivní také v interakci mezi informačními strukturami a vlastním koncepčním rámcem. V případě kognitivní kartografie je tato interakce prováděna mezi reprezentacemi modelů geografické informace, jako jsou mapy, a uloženou znalostní strukturou uživatele. Tato interakce jedinci umožňuje individuální úpravy nebo změny jeho znalostí, protože informace získaná z okolního prostředí je právě prvkem, který vytváří samotné znalosti. Mělo by se rozlišovat mezi kognicí jako procesem poznávání a kognicí jako výsledkem tohoto procesu, tedy poznatky a znalostmi. Základními přístupy pro vysvětlení kognice jsou symbolická reprezentace, konekcionismus a semiotický přístup.

Důležitým prvkem vizualizace nejistoty se stává percepce (vnímání). Percepce je vnitřní pocit vznikající z dojmu na naše smysly, přijímání dojmů nebo pocitů pomocí jednoho z našich smyslů. Je důležité si uvědomit, že lidské smysly nejsou dokonalé, a mohou tudíž zkreslovat realitu. Jinými slovy lze konstatovat, že již samotné vnímání poskytuje na realitu více či méně nedokonalý pohled [MEZIAS A STARBUCK, 2003]. Někteří odborníci se domnívají, že je to zejména osobnost člověka, která má vliv na vnímání jednotlivců. Jiní [FISKE A TAYLOR, 2008] se drží názoru, že mezi vlastnosti, které nejvíce ovlivňují vnímání, patří jasnost, srozumitelnost a zřetelnost podkladů. Zde je vhodné uvést, že každé kartografické dílo je možné vnímat ze tří možných pohledů: odborného (obsah mapy), technického (kartografická interpretace obsahu mapy, tisk, písmo, kvalita zpracování) a estetického (kompozice mapy, použité barvy, apod.) [VOŽENÍLEK, 2004]. Z pohledu vizualizace nejistoty tak lze konstatovat, že všechny uvedené parametry a proměnné mají být jen minimální vliv na správný přenos informací a pro hlubší pochopení a porozumění této problematiky nelze vyloučit ani jednu z možností (nebo ji prohlásit za nepodstatnou). Vymezením nejistoty napříč spektrem oborů byly zjištěny další zajímavé skutečnosti, které více či méně, přímo či nepřímo, souvisejí se zobrazováním nejistoty a subjektivním vnímáním na mapách. Jak bylo popsáno Bourgeoisem [BOURGEOIS, 1985], vnímání jednotlivců se může výrazně lišit, a to vede k tzv. vnímání relativity.

V psychologii lze nalézt velké množství teorií zabývajících se vnímáním, konkrétně se jedná například o podněty, které vnímání ovlivňují, a hloubku těchto podnětů. Podle Kraaka [KRAAK, 1988] se podněty mohou dělit na dvě skupiny: fyziologické (podněty související se samotným vizuálním systémem) a obrazové (podněty související se strukturou objektů nebo výsledným obrazem). Z fyziologických podnětů je důležité uvést schopnost člověka vnímat podrobné informace na základě rozdílných obrazů na sítnici oka. Významný vliv na tento proces mají právě fyziologické vlastnosti lidského zraku: konvergence (schopnost očí otočit se dovnitř, pokud se zaměřují na objekt), vzdušné perspektivy (vzdálené objekty vypadají mlhavě), binokulární nesourodost (vzdálenost mezi očima, která způsobuje vznik dvou nesourodých obrazů na sítnici oka) a množství dalších vlastností, které ovlivňují vnímání jednotlivce. I vlivem těchto atributů vzniká zkreslení. V návaznosti na tyto poznatky se Kuvaas a Kaufman [KUUVAAS A KAUFMANN, 2004] pokusili definovat tři typy tohoto zkreslení: zjednodušené zkreslení (vzniká kvůli složitosti reality), emocionální zkreslení (vzniká z přesvědčení jednotlivce) a zkreslení z důvodu interakce mezi složitostí reality a zkreslením způsobeným přesvědčením jednotlivce.

Velmi důležitý je také model perceptuálního pohledu na reálný svět [SAGER A KOL., 2007], který je ovlivněn celou řadou faktorů. V modelu lze vymezit dva základní pohledy, kterými lze na realitu pohlížet: logický a fyzický. V logickém pohledu dochází k vytváření abstraktního modelu světa na základě reprezentace světa reálného, zatímco v pohledu fyzickém jde především o pochopení a následný přenos signálů ze světa reálného. Oba směry poté vedou k vytváření systémově parametrizovaného modelu reálného světa, který je následně především díky předchozím pozorováním a zkušenostmi přetvořen na uživatelův mentální model světa (obr. 5.8). Schématický zákres tohoto modelu je ztvárněn pomocí oblak, která demonstrují jednotlivé reprezentace. Spojnice oblaků poukazují na místa, kde dochází k procesu generování a přenosu dat. Ve všech fázích modelů může docházet ke vzniku nejistot. Nejistota může existovat již v rámci údajů, které do modelů vstupují, nebo může být generována díky technickému vybavení. Nejistotu do modelu může vnášet uživatel vlivem kognitivních předsudků a nejistota může vznikat také kvůli

špatnému navržení celého modelu. Nicméně vzhledem k obsáhlosti různých druhů zkresení množství faktorů, které mohou tento model ovlivnit, nebudou vzhledem k jejich povaze jednotlivé detaily dále hlouběji rozebírány.



Obr. 5.8 Zdroje a konkretizace nejistoty: procesy generování, přenos dat a reprezentace dat; upraveno podle [SAGER A KOL., 2007]

5.2.1 Percepční a kognitivní teorie

I přes skutečnost, že na základě poznatků z kognitivní psychologie existuje větší množství jednotlivých teorií, které pomáhají v procesu tvorby vizualizací, není někdy zcela zřejmé, jakým způsobem lze následně konkrétní poznatky při vizualizaci nejistoty aplikovat. Z tohoto pohledu je důležitá již zmiňovaná percepce, která je funkcí kognice (myšlení). Lze ji také chápat jako způsob kódování, uložení a začlenění informace do již stávajících znalostí [GOLLEDGE A STIMSON, 1997]. Jedná se o soubor psychických procesů, na jejichž základě lze v mozku rozpoznat, třídít, spojovat a přisuzovat význam počitkům, získaným od podnětů z okolního prostředí. Percepce je výrazně ovlivněna kvalitou smyslových orgánů a primárním zpracováním jejich výstupů nervovou soustavou, včetně předchozí zkušenosti [STERNBERG, 2002]. Pro studium čtení a používání map je percepce velmi důležitá, protože

napomáhá stabilně a konzistentně strukturovat na mapě znázorňovaný prostor. Právě proces přisuzování významu je z pohledu vizualizace nejdůležitější. Nepochopená nebo příliš složitá vizualizace proces přenosu kvalitní informace komplikuje. Na vizualizaci nejistoty tedy může být nahlíženo jako na obecné vizualizace, nicméně plnicí velmi specifický účel a nesoucí nový význam. Proto jejich složitost a komplexnost vyžaduje také komplexní přístup, který by měl převážně vycházet z předpokladu, že konečným uživatelem dat je čtenář mapy. Vizualizace nejistoty by proto měly ctít obecné zásady a pravidla, které již byly částečně definovány. Před navržením nového konceptu je proto vhodné zvážit stávající percepční a kognitivní rámce, ze kterých je možné vyjít a které posléze umožní lépe pochopit silné a slabé stránky nově navrženého konceptu. Tato část práce proto obsahuje stručný přehled percepčních a kognitivních teorií, které mohou být použity k hodnocení reprezentací vizualizací nejistoty. V rámci těchto teorií jsou poté teorie Bertina, Tufteho, Chamberse a Wareho považovány za ty nejvíce ovlivňující výzkum vizualizace nejistoty [ZUK, 2008], proto jsou uvedeny v následujícím textu.

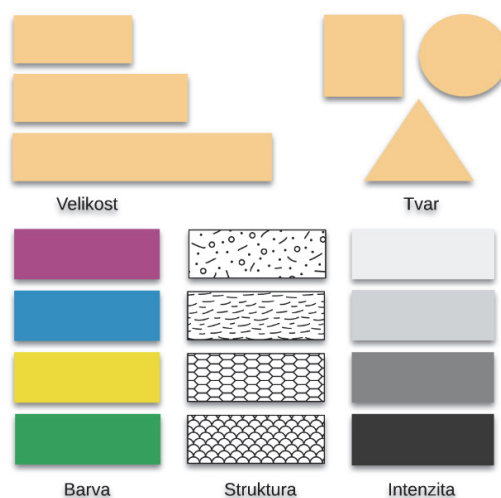
Jacques Bertin

Hlavním a zcela zásadním úkolem při vizualizaci nejen nejistoty je nalezení vhodných vizuálních proměnných, které popisují jednotlivé prvky nejistoty nebo dat. Důvodem pro použití grafických nástrojů při vizualizaci jsou zejména přirozené a velmi silně rozvinuté vizuálně-kognitivní schopnosti člověka – čtenáře informací [BERTIN, 1981]. Ten dokáže pomocí řeči grafických symbolů porozumět i velmi komplexním problémům, jejichž řešení mu pouhý imaginární prostor čísel nebo textu může jen stěží zprostředkovat. Studium symbolů a způsobem jakým přenášejí informaci, se zabývá sémiotika (sémiologie), jejímž cílem je pochopení jakým způsobem symboly dodávají věcem nebo konceptům význam [MAC EACHREN A KOL., 2012]. Disciplína vznikla ve Spojených státech amerických, v Evropě byla následně rozvíjena francouzským filozofem Ferdinandem de Saussurem [LA SAUSSURE, 1986], protože se jednalo především o doménu filozofů. Až v práci *Semiology of graphic* se Jacques Bertin [BERTIN, 1983] pokusil všechny grafické symboly klasifikovat do skupin podle toho, jak mohou přenášet informaci [WARE, 2013]. Na základě této skutečnosti pak Bertin představuje klasifikaci jím definovaných vizuálních proměnných: rovinného rozměru (x, y) a viditelných stop v rovině (tvar, velikost a barva, sytost/intenzita, výplň a orientace). Ve své práci navíc položil základy pro metodologii vizualizace, která integruje mapování mezi nominálními, ordinálními, intervalovými a poměrovými měřeními a grafickými systémy kódování. Analýza, kterou Bertin předkládá, je založena na potenciálu každé proměnné pro: perceptibilní výběr skupiny, přirozené percepční uspořádání (nenaučené), percepční seskupování charakteristik, počet rozpoznatelných prvků, které mohou být zastoupeny v souboru (délka) a schopnost pro kvantitativní srovnání [ZUK, 2008] Proměnná je tzv. selektivní, pokud je vnímána okamžitě bez ohledu na jednotlivé znaky. Výkon tohoto percepčního procesu, kdy počet distraktorů nehraje roli, byl označen jako „preattentive processing“. Jelikož se o této výkonnostní charakteristice zmiňuje především Ware, bude dále rozebírána v této části. Za asociativní lze proměnnou považovat tehdy, pokud ji lze vnímat jako skupinu. Díky kvantitativní vlastnosti proměnné lze získat numerické vyjádření jejích změn. Co se týče pořadí, je nutné uspořádání proměnné vnímat jako posloupnost. Poslední charakteristika proměnné je délka, o které má smysl hovořit, pouze pokud je změna v délce vnímatelná. Navíc délka proměnné musí být značně snížena, aby ji bylo možno použít pro selektivní zpracování. Pokud jde o informace, Bertin přirovnal

vnímání obrazu k sérii otázek. Jako nejlepší grafické konstrukce definoval ty, které na otázky odpovídají nejrychleji.

Bertin a jeho následovníci se shodují na myšlence, že by měla existovat jakási „správnost použití“, tedy správné využití grafických znaků jako vizuálních proměnných, což by mělo umožnit stanovení pravidel pro rozhodování nad správným procesem tvorby mapy. Slovní spojení „správnost pro použití“ se v této práci již objevilo při definování kvality prostorových dat. Z tohoto pohledu lze poté hovořit také o „kvalitě“ vizuální proměnné. Vizuální proměnné je možno z hlediska důležitosti rozdělit na dvě skupiny [BERTIN, 1983]:

- tvar, velikost a barva,
- sytost (intenzita), výplň a orientace.



Obr. 5.9 Základní vizuální proměnné mapového znaku; upraveno podle [BERTIN, 1983]

V některých případech může být u zmíněných skupin pořadí opačné. U první skupiny (barva, velikost a tvar) a u druhé skupiny (sytost, výplň, orientace) může ojediněle dojít ke změně pořadí. S postupem času bylo zjištěno, že sytost je jednou z vlastností barvy (sytost, tón a jas), proto její vyčleňování má smysl pouze při vyhodnocování černobílých map, kde je sytost chápána jako posloupnost tónů a púltónů, což je vlastně intenzita, tzn. množství černé barvy v bílé. V případě barevných map je vizuálních proměnných buď pouze pět (tvar, velikost, barva, výplň, orientace) nebo sedm, když se vezmou v úvahu i jednotlivé atributy barvy (tvar, velikost, barevný tón, sytost barvy, jas barvy, výplň, orientace) [PRAVDA, 2006]. Vizualizace nejistoty se také opírá o kartografické zásady a pravidla [KAŇOK, 1999; KRAAK A ORMELING, 2003; SLOCUM, 2005; VOŽENÍLEK, 1999]. Při výzkumu vizualizace nejistoty bylo navrženo několik rozšíření Bertinovy teorie pro proměnné znaku. Mezi nejdůležitější rozšíření patří intenzita (saturace) barvy [MORRISON, 1984], průhlednost [WILKINSON, 1999] a srozumitelnost (tu lze rozdělit na ostrost, rozlišení a průhlednost) [MAC EACHREN, 1995]. McGranaghan rozšířil tento set percepčních proměnných o představu realismu, která je významným problémem počítačové grafiky [McGRANAGHAN, 1993]. Jak již bylo zmíněno, byl poměrně velký počet grafických proměnných navržen konkrétně za účelem zobrazování nejistoty, nicméně jednotliví autoři vždy primárně vycházejí z definic a proměnných navržených Bertinem, kdy techniky pro vizualizaci nejistoty neobsahují pouze modifikace grafických proměnných. Některé metody také využívají přidanou

geometrii ve formě glyfů, isolinií nebo jiných objektů. Z pohledu efektivnosti přenosu informace lze však jen některé považovat za fungující. O konkrétních metodách bude pojednávat následující kapitola.

Edward Tufte

Edward Tufte je známý především díky jeho publikacím o informačním designu [TUFTE, 1994; TUFTE, 1997; TUFTE, 2001]. Je také pokládán za průkopníka v oblasti vizualizace dat, kdy lze v jeho pracích nalézt značné množství doporučení a teorií, které je vhodné aplikovat také při vizualizaci nejistoty. Tufte ve své práci definuje dva základní grafické principy, které vedou k úspěšné vizualizaci: grafickou integritu a grafickou dokonalost.

Grafická integrita je chápána tak, že:

- reprezentace čísel by měla být přímo úměrná množství číselných zástupců, které jsou reprezentovány,
- pro odstranění nejasností a zkreslení by mělo být využito jasných a podrobných popisů,
- měla by být prezentována variabilita dat a ne variabilita designu,
- vizuální reprezentace dat by měly být v souladu s jejich číselným vyjádřením,
- stejné barvy by měly sloužit více než jednomu grafickému účelu.

Grafická dokonalost má dát čtenáři co největší množství nápadů v co nejkratším čase, navíc s využitím minimálního prostoru. Pro dosažení grafické dokonalosti Tufte specifikoval pokyny k podpoře grafické jasnosti, přesnosti a efektivnosti tak, že by grafika měla:

- ukázat data,
- nezakrývat sdělení,
- nezkreslovat,
- prezentovat mnoho čísel na malém prostoru,
- ukázat koherenci ve velkých datových sadách,
- podpořit porovnání mezi daty,
- poskytnout zároveň široký přehled i jemný detail,
- sloužit jasnému účelu.

Jedním z Tufteho doporučení je také využití co nejmenšího množství inkoustu na co největší množinu dat (data-ink maximization principle). Navíc by měl být poměr množství datových prvků na grafickou plochu přiměřený. Pokud je příliš nízký, měla by být zmenšena grafická plocha pro zobrazení data (data density principle). Podle Tufteho, který je považován za předního odborníka na vizualizaci informace [MCFEDRIES, 2012], jsou zmatek a nepořádek poruchy samotných vizualizací, nikoli atributy informací. Z tohoto pohledu je možné tvrdit, že Tufte pod tímto pojetím myslí právě nejistotu vizualizace. Jeho cílem je nalézt konkrétní designové strategie a metody, které odhalují detaily a složitost, a nekomplikovat výsledná data chybami nebo nepřesnostmi. Tufte také věří v univerzálnost některých kognitivních úkolů, které nazývá jako „nekonečnou znalost“. Jeho principy jsou univerzální podobně jako matematické principy, zákony přírody nebo hluboká struktura jazyka, kdy navíc nejsou nijak vázány na žádný jazyk, kulturu, styl, století, pohlaví, nebo

konkrétní technologii zobrazování informací. Před zahájením přednášek Tufte vždy uvádí, že „neexistuje nic jako informační přetížení“, místo toho konstatuje, že „vše je jen otázkou špatného designu“ [BAMFORTH, 2011]. Existuje mnoho příkladů neúplných nebo nejasných vizualizací dat v důsledku nesprávného rozhodování. Právě zanedbání nejisté povahy dat je většinou jedním ze způsobů, jak takovou vizualizaci vytvořit. Jedním z Tufteho „nejslavnějších“ příkladů takové špatné vizualizace jsou grafy použité inženýry při startu raketoplánu Challenger v roce 1986. Tufte uvádí, že: „za smrtí astronautů stojí chyba inženýrů správně vizualizovat data“, dále doplňuje, že: „kdyby byla data vizualizována správně, nikdy by ke startu raketoplánu nedošlo“. S Tufteho názorem však někteří nesouhlasí [KOSARA, 2011] a argumentují tím, že Tufte ignoruje mnoho složitostí dat a fyziky. V jejich pojetí je samotné pochopení komplexity dat stejně důležité jako samotná vizualizace. I přes uvedené skutečnosti jsou správné vizualizace nejistých dat stále velmi vzácné.

John M. Chambers a kolektiv

Autoři analyzují vzájemné ovlivňování mozku, oka a obrazu s cílem správně uspořádat finální výstup. Potenciálně nejdůležitější vzory jsou většinou spojeny se snadno vnímatelnými aspekty, které se zobrazují na displeji [CHAMBERS, 1983]. Autoři současně poukazují na to, že lidské oko je schopné mnohem snadněji vnímat umístění symbolů podél osy než jiné grafické aspekty. Například rovné čáry vnímá lidské oko mnohem jasněji než křivky, jednoduché vzory rychleji než komplexní vzory, velké, tmavé objekty nebo skupiny objektů vnímá více a rychleji než malé a izolované objekty. V souvislosti s psychologickým procesem jsou specifikovány další body. Ty se zabírají například možností vnímat více částí v jednom obrazu jednoduše „přepínáním“ pozornosti mezi jednotlivými částmi. V návaznosti na tyto myšlenky byly sestaveny obecné vizualizační techniky [CHAMBERS, 1983]. Ty jsou rozděleny do tří kategorií: snížení „nepořádku“ (minimalizace množství neinformativních detailů), odstranění hrubé struktury (zvýšení informační hodnoty obrazu odstraněním struktury z dat, jakmile jsou tyto struktury identifikované) a správné označování (efektivní používání popisů).

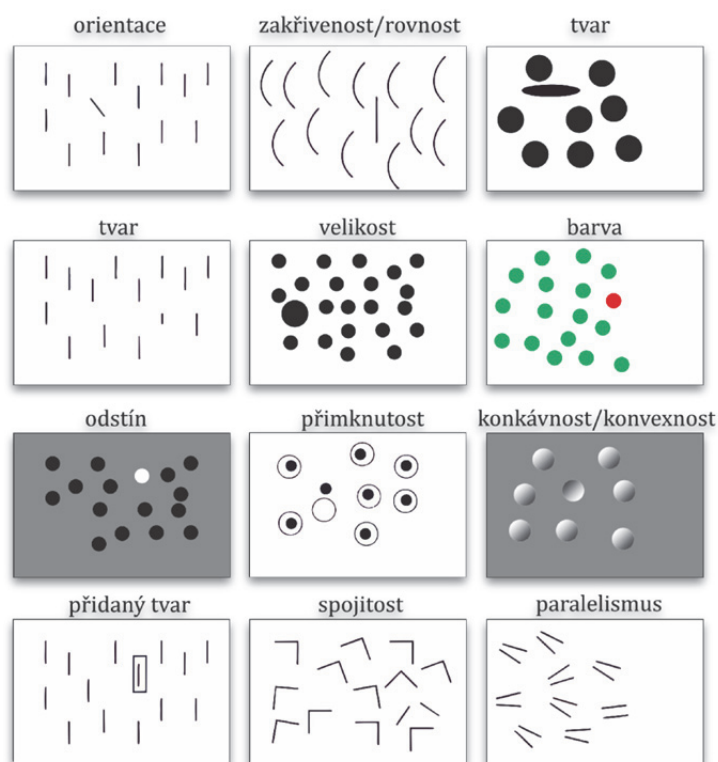
Colin Ware

Další možný soubor teorií vnímání, které lze použít při hodnocení vizualizací nejistoty, je obsažen v práci Wareho [WARE, 2013]. Jeho dílo obsahuje mnoho vysvětlení kognitivních a psychologických pravidel, které se většinou vztahují k používání barev, textury, pohybu a 3D displejů při vizualizaci informace. Specifikum jeho přístupu tkví ve spojování teorie s praxí. Z nejdůležitějších pravidel, která lze aplikovat při vizualizaci nejistoty, lze uvést následující:

- navrhovat grafické reprezentace s ohledem na omezené možnosti smyslového vnímání tak, aby důležité prvky dat mohly být vnímány rychle,
- důležité grafické symboly zobrazovat grafickými elementy, které budou jednodušeji odlišitelné od těch, které nenesou podstatnou informaci,
- používat nové přístupy pouze pokud prokazatelně přinesou větší přínos, v porovnání s časem a energií nutných pro jejich implementaci,
- vyhnout se používání černobílých stupnic k zobrazování většího počtu (dvě až čtyři) numerických hodnot,

- využít odlišné vizuální kanály pro zobrazení odlišných aspektů dat takovým způsobem, aby mohly být jednoduše rozeznány,
- používat základní texturové parametry, jako velikost nebo hustotu pouze tehdy, pokud je odlišováno méně než 5 ordinálních stupňů,
- navrhovat glyfy způsobem, aby byly více salientní tam, kde dochází k velké změně vlastností zobrazované vlastnosti dat a mnohé další.

Z pohledu vizualizace nejistoty tak lze využít velkou část Wareho doporučení včetně toho, že vizualizace nejistoty by měla využívat „preattentive processing“, aby mohla být rychle pochopena [HEALEY A KOL., 1996; KOSARA A KOL., 2002; WARE, 2013]. Pro názornost jsou některé vlastnosti znaku, které jsou zpracovány pomocí preattentive procesingu, uvedeny na obrázku 5.10.



Obr. 5.10 Výběr vlastností prvků, které mohou být zpracovány pomocí primární vizuální mozkové kůry; upraveno podle [WARE, 2013]

Kapitola *Principy vizualizace nejistoty* demonstrovala problematický náhled na celkové pojetí vizualizace jako nástroje pro komunikaci mezi tvůrcem mapy a čtenářem informací. Byla popsána historická vývojová linie názorů na přenos informace, s cílem poukázat na hlavní aspekty a jednoznačně demonstrovat, že při vizualizaci nejistoty v tomto pojetí je především nutné počítat s jednotlivcem jako s konečným uživatelem vzniklých vizualizací. Z tohoto pohledu je nutné vizualizace vždy tvořit cíleně a v souladu právě s touto skutečností. Díky uvedenému přehledu bylo navíc možné pochopit, kdy se jedná o vizualizaci nejistoty a kdy o nejistotu samotné vizualizace. Na základě popisu jednotlivých dílčích teorií tato kapitola také nastínila jednotlivá obecná vizualizační pravidla a poskytla

doporučení, která lze ve většině případů použít právě při vizualizaci nejistoty. Vizualizace vědeckých výstupů by vždy měly dodržovat i kartografické zásady a vizualizační pravidla, aby se primárně jednalo o vizualizaci nejistoty a ostatní vlivy ovlivňující vizualizaci byly eliminovány. Zobrazovanou skutečnost je tedy nutné vizualizovat co možná nejpřesněji a takovým způsobem, aby bylo možné zobrazovat primárně kvalitu prostorových dat a nekomplikovat vzniklé vizualizace výběrem nesprávné metody nebo jiným faktorem ovlivňujícím vnímání. Oblast vizualizace nejistoty je oproti obecné vizualizaci velmi aplikačně specifická a nese s sebou řadu otázek a problémů týkajících se především efektivnosti vizualizace nejistoty, její typologie a vlivu na rozhodovací procesy. Proto bude o vizualizaci nejistoty pojednávat celá další samostatná kapitola.

6 VIZUALIZACE NEJISTOTY

Efektivní vizualizace by měly volbou vhodné vizuální metafory prezentovat informace takovým způsobem, který podporuje pochopení dat. V tomto pojetí jsou data využívána především k poskytnutí odpovědi na konkrétní otázky, testy, hypotézy nebo k prozkoumání vzájemných vztahů. V případě GIScience má většina dat navíc prostorový charakter a vizuální prezentace musí v tomto případě usnadňovat také naplnění stanovených cílů. Většina tradičních vizualizačních technik byla vytvářena (a často také používána) především za předpokladu, že všechna dostupná a použitá data jsou přesná a přenos informace je bezproblémový. Jak uvádějí předešlé kapitoly, tyto předpoklady nejsou z popsaných důvodů možné. I kdyby existoval předpoklad, že je možné vytvořit efektivní vizualizaci, stále bude platit, že zobrazovaná data obsahují určitý stupeň nejistoty (obr. 6.1). Je tedy velmi důležitý konkrétní účel vizualizace a je nutné dobře zvážit, zda přidání informace o kvalitě dat je z pohledu účelu reprezentace vhodné či nikoliv. Pokud je realizována vizualizace kvality dat, je třeba si uvědomit, že efektivní vizualizace jsou zcela odlišné od efektivních vizualizací nejistoty. Vytváření vizualizací nejistoty není z tohoto pohledu vždy možné pouze s využitím aplikace tradičních zobrazovacích metod. Navíc je nutné brát ohled na různé další faktory a je třeba mít na paměti, že různé vizualizační metody a techniky jsou pro daný typ úloh vhodnější než jiné. Z tohoto důvodu neexistuje jediná vizualizační technika, která by řešila všechny jednotlivé aspekty nejistoty. Velmi často má již samotná vizualizace vysokou vizuální komplexitu a přidání další informace v podobě nejistoty velmi komplikuje možnosti čtení. Opět je tedy nutné pečlivě zvažovat konkrétní povahu prostorových dat a účel samotné vizualizace.



Obr. 6.1 Model znázorňující rostoucí nejistotu; upraveno podle [ROTH, 2009]

I přes uvedené komplikace lze vizualizace nejistoty jako způsob komunikace vysledovat již v počátečních studiích zabývajících se nejistotou obecně [BEARD A KOL., 1991], kdy v různých odvětvích lidské činnosti je využívána široká paleta vizualizačních algoritmů pro vizualizaci nejistoty, včetně geografických informačních systémů, meteorologie, oceánografie a lékařského výzkumu [LERMUSIAUX A KOL., 2006; MAC EACHREN, 1995; PANG A KOL., 1997]. I přesto, že se pohled na vizualizaci nejistoty mění a ta se pomalu dostává do stále většího okruhu studií včetně těch environmentálních, stále se implementačně jedná o velmi pomalý proces a problematickou oblast. Důsledkem těchto skutečností vizualizace nejistoty stále zůstává jednou z nejdůležitějších výzev vizuální analýzy [WONG A KOL., 2012]. V následující části práce jsou proto uvedeny jednotlivé problémy, které uvedenou skutečnost demonstrují. V rámci podkapitol poté bude dále zkoumána typologie nejistoty s cílem následně nastínit jednotlivé vizualizační techniky používané pro vizualizaci jednotlivých komponent kvality prostorových dat.

6.1 Komplexita a typologie nejistoty

Samotná implementace teorií vizualizace nejistoty je velmi pomalý proces. Tato situace je způsobena převážně vysokou náročností a samotnou komplexitou nejistoty jako takové. Úvodní kapitoly práce zmiňovaly problémy způsobené nejednotnou terminologií a rozdílnými přístupy v pojetí nejistoty. Problémy vznikají také při definování jednotlivých komponent kvality prostorových dat. V souladu s těmito výzkumy je primární tvrzení, které vychází z předpokladu, že pokud mají být vizualizace nejistoty efektivní, je nutné k nim přistupovat jako k vizualizacím plnícím specifické úkony [TREINISH, 1999]. V návaznosti na tyto požadavky byla dále rozvíjena potřeba vizualizaci nejistoty teoreticky konceptualizovat a navrhnout další vizualizační metody reprezentaci nejistoty [JOHNSON A SANDERSON, 2003]. Je důležité uvést konkrétní příklady, kdy byly jednotlivé komponenty prvků kvality zkoumány právě za účelem jejich následné vizualizace. Beard a kol. [BEARD A KOL., 1991] byli prvními odborníky, kteří kategorizovali komponenty kvality dat právě s důrazem na vizualizaci nejistoty. Vytvořili základní přehled kategorií a vhodných způsobů vizualizace pro jednotlivé typy dat (diskrétní, kategorické a kontinuální), který napojili na pět kategorií již zmíněného SDTS. V rámci tohoto dělení poté určili specifické vizuální proměnné, které jsou vhodné pro vizualizaci konkrétních komponent kvality prostorových dat, které byly následně prakticky demonstrovány na mapách. V této práci nicméně chybí implementace hierarchické povahy těchto komponentů. Z tohoto pohledu je nutné podotknout, že právě povaha jednotlivých komponent určuje jejich prostorovost. Obecné komponenty kvality dat, které nejsou navázány na jednotlivé dimenze prostorových dat, mohou nést přídomek globální, nicméně díky absenci prostorové dimenze nejsou vhodné pro vizualizaci. Oproti tomu vizualizace konkrétních prvků kvality poskytují ideální mechanismus pro komunikaci prostorové změny kvality. Tento rozdíl poté určuje efektivitu jednotlivých zobrazovacích metod, a jak již bylo uvedeno, liší se na různých úrovních komponentů kvality dat. I přes tyto skutečnosti zmíněná typologie stále zůstává jednou z nejvíce praktických, protože spojuje vizualizaci přímo s konkrétními kategoriemi nejistoty [DRECKI, 2011]. Další rozšíření zmíněného konceptu bylo poté navrženo autory Buttefield a Beard [BUTTENFIELD A BEARD, 1994], kteří oproti stávajícímu dělení představili navíc polohu, atribut a čas jako třetí rozměr jejich původní matice. Navíc zjednodušili situaci tím, že sloučili přesnost (polohovou a atributovou). Poskytli také omezený návod pro použití konkrétních metod pro znázornění nejistoty. V návaznosti na již provedené studie následně Gershon [GERSHON, 1998] přiřadil nejistotu jako součást neúplné „imperfect“ znalosti a představil šest typů, které tuto neúplnou znalost způsobují. Jedná se o:

- neúplnou informaci,
- nedůslednost,
- přílišnou složitost informace,
- nejistotu,
- nedokonalou prezentaci,
- porušená data/informace.

Vyčleněním nedokonalé prezentace také Gershon definoval přetížení vlivem nadměrného množství informace, neadekvátní prezentaci nebo nevhodně zvolené zařízení. Tyto problémy definoval jako výzvy samotného vizualizačního procesu k odstranění nedokonalosti. Ve své práci tedy nehovoří o nepřesnostech v datech. Gershon vyzval

k vytvoření principů pro management nejistoty/nedokonalosti a poukázal na konečného uživatele, jako na faktor, na který je nutné brát ohled. Nejistota z pohledu vizualizací obecně byla dále přezkoumána Pangem a kol. [PANG A KOL., 1997], kdy autoři vytvořili mnohonásobné klasifikační systémy založené na nejistotě, datech, a také na metodách použitých pro vytvoření samotné vizualizace. Jejich klasifikace jsou rozděleny primárně podle typů dat (skalární, vektorové, tenzorové a vícerozměrné). Pangův přístup bude detailněji rozebírán v další podkapitole, protože se jedná o jeden z nejkompexnějších přístupů v rámci vizualizace nejistoty. V dalších studiích Johnson a Sanderson navrhli, že by měl být vytvořen teoretický rámec pro vizualizaci nejistoty a chyby [JOHNSON A SANDERSON, 2003]. Následné snahy byly také specificky spojeny s prostorovými daty a konkrétními aplikacemi. Gahegan a Ehlers [GAHEGAN A EHLERS, 2000] přiřadili konceptualizaci nejistoty k modelování v rámci dálkového průzkumu Země a geografických informačních systémů. Snahou autorů bylo vytvořit simulační balík k propojení těchto dvou domén. Ve studii spojili pět typů nejistoty (hodnotu, prostor, čas, konzistenci a kompletnost) s čtyřmi geografickými modely. Jejich teoretická práce je zaměřena hlavně na propagaci nejistoty a také na chyby. V této studii se nicméně neobjevují žádné praktické příklady jak nejistotu ztvárnit graficky [DRECKI, 2011]. V rámci geografie byla typologie vizualizace nejistoty představena MacEachrenem a kol. [MAC EACHREN A KOL., 2005]. Autoři publikovali přehled modelů informační nejistoty a neúplné znalosti s cílem napomoci vizualizacím právě u geoprostorových analýz. Představují řadu konceptualizací nejistoty, které mohou být užitečné pro následnou implementaci těchto teorií a pro rozvíjení vizualizace nejistoty. Výsledkem jejich práce je přehled jednotlivých výzev, mezi které patří především:

- pochopení složky nejistoty a jejich vztahů především k okruhu působnosti, uživatelům a informačním potřebám,
- pochopení, jak znalost nejistoty ovlivňuje rozhodovací procesy, analýzu informací a výstupy,
- pochopení, zda nejistota vizualizace pomáhá výzkumům a výzkumným analýzám,
- vyvinutí metod pro zachycení a zakódování nejistoty pro analytiky a ostatní odborníky, zabývajícími se rozhodovacími procesy,
- vyvinutí metody pro současné vyjádření více typů nejistoty,
- vyvinutí metody a nástroje pro interakci při zobrazování nejistoty,
- nalezení prostředků pro hodnocení použitelnosti a užitečnosti vizualizací nejistoty.

V návaznosti na již zmíněné studie byla velkým krokem vpřed také typologie navržená Thomsonem a kol., která vychází ze studií a klasifikací autorů Panga a Gershona [GERSHON, 1998; PANG A KOL., 1997]. V této typologii vyčleňují devět kategorií (tab. 6.1). Velká část těchto komponentů prostorových dat však již byla zmíněna v kapitole o kvalitě prostorových dat, proto nebude dále hlouběji rozebírána. Další vytvoření systematického koncepčního rámce bylo představeno při modelování půdního krytu na základě historických mapových podkladů [LEYK A KOL., 2005: 1440]. Navržený model se skládá ze tří „oblastí“ nejistoty: výrobní, transformační a aplikačně orientované. V tomto dělení jsou systematicky zkoumány konkrétní nejistoty. Griethe a Shumann [GRIETHE A SCHUMANN, 2006] také zdůrazňují význam vizualizace nejistoty pro úkoly, jakými jsou například rozhodovací procesy, zvláště tam, kde je analyzováno velké množství dat. Nicméně i přes celkovou snahu nejistotu formalizovat, vytvořit fungující koncepty a typologie, zůstává stále

prezentace nejistoty nevyřešeným problémem jak na poli kartografie, tak i při vizualizaci jakékoliv obecné informace. Z tohoto pohledu je stále nutný další výzkum a konceptualizace.

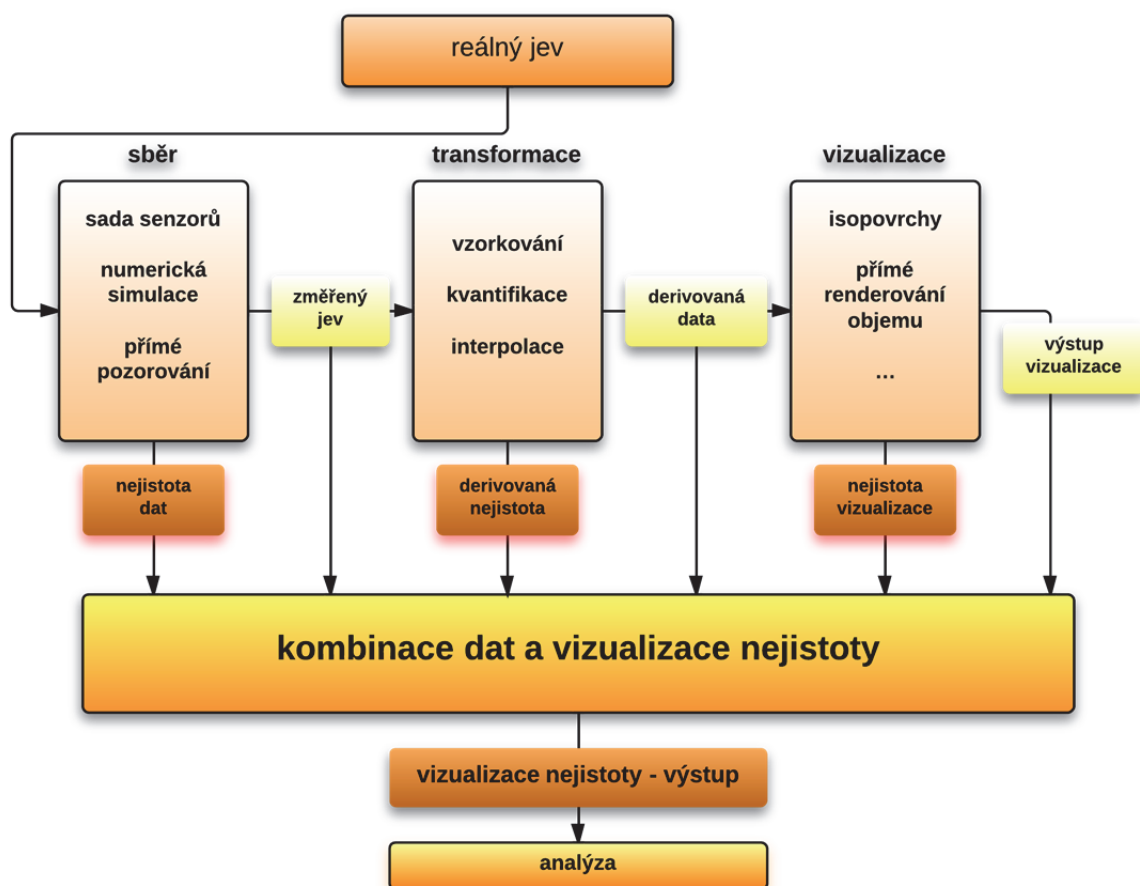
Tab. 6.1 Typologie pro vizualizaci nejistoty [THOMSON A KOL., 2005]

| Kategorie | Definice |
|-----------------|---|
| Přesnost/chyba | rozdíl mezi pozorováním a realitou |
| Preciznost | přesnost měření |
| Kompletnost | míra komplexnosti informací |
| Konzistence | míra do jaké informace o jednotlivých komponentech souhlasí |
| Rodokmen | popis zdrojového materiálu |
| Časová přesnost | přesnost časových aspektů |
| Důvěryhodnost | posouzení zdroje informací |
| Subjektivita | výše zahrnuté subjektivity |
| Souvislost | míra nezávislosti nebo závislosti |

6.2 Proces vizualizace nejistoty

Velké množství klasifikačních schémat bylo navrženo na poli GIScience i v oblasti InfoVis. Asi nejucelenější přehled lze nalézt v práci kolektivu MacEachrena [MAC EACHREN A KOL., 2005]. V jeho práci lze také nalézt tvrzení, že v porovnání s GIScience komunitou je na formalizaci nejistoty v rámci InfoVis komunity kladen menší důraz [AIPPERSPACH, 2006]. V rámci InfoVis komunity je nejčastěji odkazováno na koncept navržený Pangem a kol. [PANG A KOL., 1997], který problematiku vystihuje pravděpodobně nejlépe a nejkompaktněji z pohledu samotné vizualizace nejistoty. Právě zobrazení možnosti jak nejistotu zařadit do procesu vizualizace prostorových dat bylo Pangem [PANG A KOL., 1997] popsáno jako paralelní proces k vizualizačnímu schématu podobnému potrubí. Tento model ze své podstaty vychází z vizualizačního modelu navrženého Haberem a McNabbem, který byl zmíněn v kapitole *Principy vizualizace nejistoty*. Celkové schéma vychází z potřeby vizualizovat reálný jev, přes proces sběru, transformaci, až po konečnou vizualizaci tohoto jevu. V autorově pojetí se však vizualizační schéma primárně opírá o jevy reálné více než o jevy abstraktní. Schéma je však i přes uvedenou skutečnost obecně použitelné také pro vizualizaci informace v rámci GIScience domény. Z pohledu tohoto modelu je zřejmé, že se nejistota šíří celým procesem. V momentě, kdy jsou jakýmkoliv způsobem zpracovávána prostorová data, je vždy potřeba počítat s určitou nejistotou, která se v následujících krocích propaguje. Celkový pohled na proces vizualizace nejistoty je popsán na následujícím schématu (obr. 6.2). Původní data v tomto schématu procházejí celou řadou jednotlivých kroků před tím, než je možné je na základě vzniklé vizualizace analyzovat. Je tedy nutné pochopit, že se jedná o celou řadu dílčích kroků, ve kterých může k zavedení nejistoty docházet v každé fázi. Jak již bylo uvedeno, v počáteční fázi se zdroje nejistoty mohou nacházet především díky chybám měření. Může se jednat také o zdroje nejistot, které jsou přítomny již v zpracovaných datech a byly způsobeny chybnou digitalizací, špatným zadáním údajů, špatným postprocessingem dat z GNSS apod. Ve fázi transformace může docházet k chybám jednotlivých metod, modelů a další. Při vizualizaci může docházet k nejistotě například z důvodu špatných vizualizačních technik, zobrazovacího zařízení,

lidského faktoru nebo neúplné znalosti. Navíc samotná nejistota do vizualizací přidává nový rozměr. Jako příklad lze uvést zobrazování izolinií s nejistotou jako areály, případně změnu isopovrchů na tělesa s objemem. Třetí složka ve schématu vizualizace nejistoty popsáno Pangem je velmi důležitá v otázce designu, protože odděluje nejistotu v reprezentaci od vizualizace samotné. Tento problém je poměrně často opomíjen při prezentaci nové vizualizační metody. Pro následné hodnocení umožňuje tento přístup také srovnávat několik vizualizací mezi sebou. Navíc lze tímto přístupem hrubě ohodnotit pouze nejistotu obsaženou pouze v této komponentě.



Obr. 6.2 Proces zakomponování nejistoty do procesu vizualizace [PANG A KOL., 1997]

Co se týče samotné nejistoty a modelování, lze nalézt vizuální reprezentace s obsaženou nejistotou právě ve specifických datových modelech. Na toto téma byly publikovány práce velkým počtem autorů [CEDILNIK A RHEINGANS, 2000; JOHNSON A SANDERSON, 2003; LOVE A KOL., 2005; RHEINGANS A JOSHI, 1999; ZUK A CARPENDALE, 2006]. Některé z těchto návrhů vizualizací byly navíc testovány a hodnoceny na specifické uživatelské úkony [AERTS A KOL., 2003; SANYAL A KOL., 2009; VIARD A KOL., 2011]. Více informací o uživatelském testování bude uvedeno v dalším textu práce. I přes uvedené studie a snahy však vizualizace nejistoty na poli GIS stále není běžnou záležitostí. Navzdory snahám nejistotu vizualizovat, žádná z navržených vizualizačních metod není dosud součástí žádného komerčního balíku GIS softwarů. Situaci lze přirovnat ke stavu implementace jednotlivých kartografických pravidel do GIS softwarů [BRUS A KOL., 2009]. V praxi je většina informací o kvalitě dat

dostupná pouze jako metadata nebo slovní popis zveřejněný odděleně od dat. Navíc je velmi často problematické tyto informace jednoduše dohledat a většina uživatelů má při práci s metadaty potíže. Existuje větší počet standardů metadat, což také může přispět k problémům se získáním potřebných údajů. Přesto, že potřeba vizualizovat nejistotu byla identifikována [HARROWER, 2003], chybí zde tedy konsensus nad nejlepším způsobem komunikace. Někteří experti uvádějí, že přidání další proměnné v podobě nejistoty vede k problémům v komunikaci a vede ke špatným závěrům a rozhodnutím. Konečným produktem vizualizace je tedy kombinovaná vizualizace, která uživateli přináší mnohem lepší odraz reality a napomáhá v lepším pochopení dat a následném rozhodnutí. Nicméně i přes uvedené studie a konkrétní výzkumy neexistuje potvrzená a ověřená teorie, která by řešila všechny aspekty vizualizace od sběru až po konečnou vizualizaci. Právě díky absenci takové teorie je tvůrce vizualizace nebo mapy stále odkázán na kvalifikované odhady rozšířené o vlastní kreativitu. Chybí zde ucelený koncept a komplexní návod jak nejistotu vizualizovat a eliminovat tak vliv nepřesně vizualizovaných dat na rozhodovací procesy. Jedním z důvodů této situace může být také to, že se nejistota nedostala do širšího podvědomí uživatelů a tudíž z jejich strany není vyžadována. Potřeba nejistotu vizualizovat tak vychází primárně pouze od producentů dat nebo tvůrců samotných vizualizací.

6.3 Metody vizualizace nejistoty

Vizualizace nejistoty je z pohledu vizualizační techniky velmi specifická. Hlavním důvodem je již zmiňovaná komplexita nově vznikajících vizualizací, kdy je nejistota obsahem samotných dat. Reprezentovaná informace by měla primárně zobrazovat sledovaná data a nejistota by měla být prezentována spíše jako vedlejší a podpůrná informace. Na základě této skutečnosti lze výzkumy v rámci vizualizace nejistoty primárně rozdělit na dva hlavní přístupy v podobě *srovnávacích* a *kombinovaných* map. V prvním případě se nejistota v mapě zobrazuje odděleně od primárních dat, takže pro zvolený atribut a vyjádření nejistoty jsou vytvořeny samostatné mapy. V případě kombinovaných map dochází k vizualizaci zvoleného atributu i jeho nejistoty do jedné mapy při využití vhodných grafických proměnných a dalších prvků. Dalším způsobem je *sekvenční vizualizace*, kdy dochází k vytvoření sekvence vizualizace nejistoty a vizualizace původních dat. Uživatel mapy může díky tomuto přístupu sledovat stále stejnou část mapy a srovnat tyto dvě vizualizace mezi sebou, což u klasických srovnávacích map není možné. Vrcholem vizualizace nejistoty je vytvoření interaktivního exploračního nástroje [BOTCHEN A KOL., 2006], který by umožnil jednoduše vizualizovat zvolený atribut a jeho nejistotu pomocí jednoduchých kroků [LUCIEER A KRAAK, 2004]. Z pohledu implementace, počtu navržených metod a přístupu jednotlivých autorů jsou vizualizace nejistoty autory více přijímány v podobě kombinovaných map, které jsou proto také nejčastěji využívány. V podstatě se jedná o biviační mapy [WARE, 2004], které využívají kombinace dvou proměnných. V rámci této metody lze dále vytvářet dělení na základě vnějšího nebo vnitřního přístupu [GERSHON, 1998]. Vnitřní přístup mění vzhled objektu, například změnou intenzity barvy v závislosti na měnící se nejistotě. V tomto případě se jedná o použití barev v podstatě stejným způsobem, jako u konvenčních tematických map [TYNER, 2010]. Běžné vnitřní metody při tomto přístupu kombinují data a nejistotu společně pomocí dvojrozměrné reprezentace [MAC EACHREN A KOL., 2005]. Druhý přístup v podobě vnější reprezentace nejistoty používá další přidanou geometrii k zobrazení dalších informací o objektech

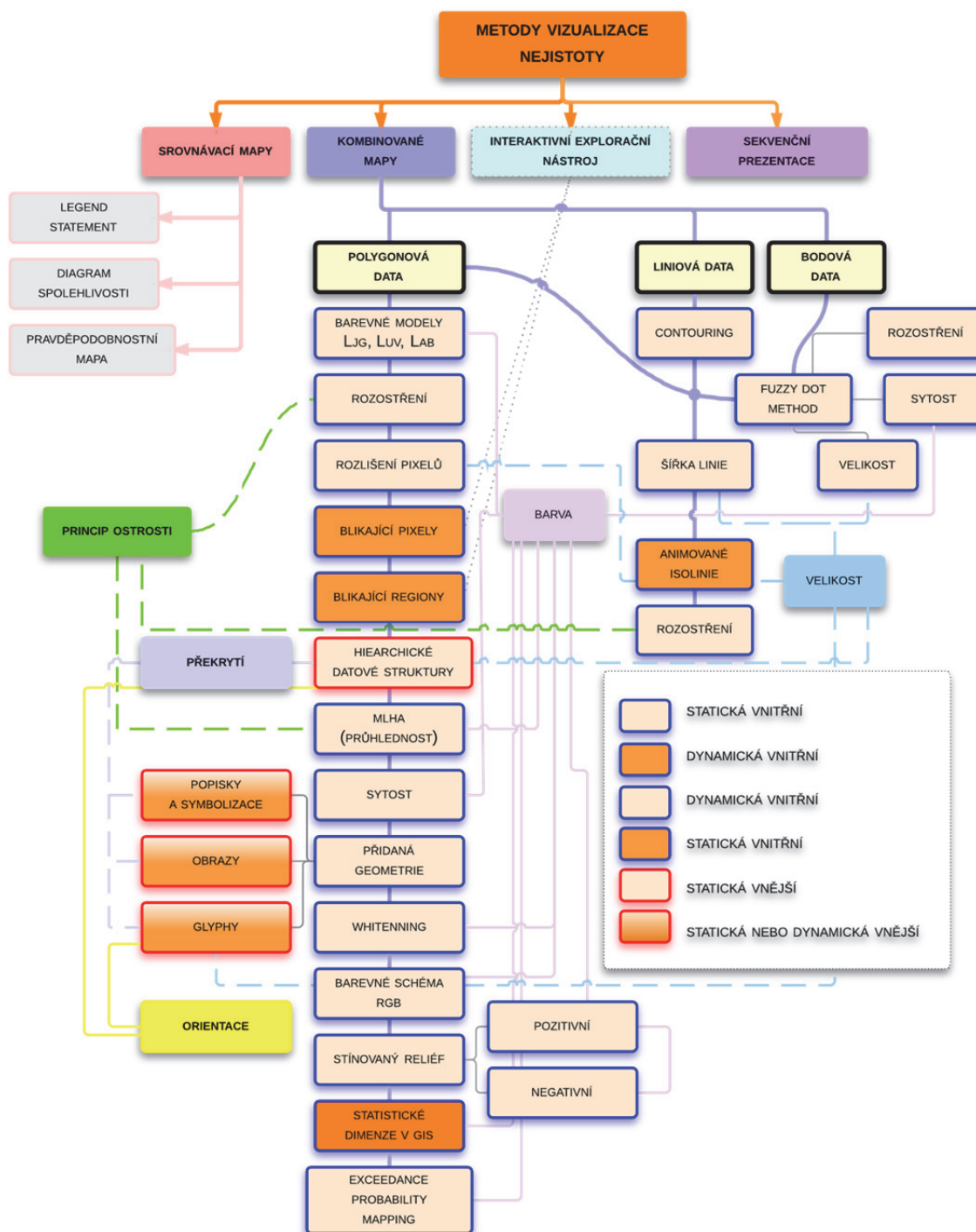
[SLOCUM A KOL., 2003]. Tyto další grafické prvky mohou být například grafy, bodové symboly [TYNER, 2010] nebo rozpoznatelné abstraktní grafické symboly, které jsou nezávislé na jakémkoli specifickém designu (tzv. glyfy) [ZEHNER A KOL., 2010]. Samotná data mohou být také díky přidané informaci rozšířena o poznámky o nejistotě [BRECHEISEN A KOL., 2009], které nesou informaci o nejistotě způsobem, aby docházelo pouze k minimálnímu překryvu zobrazovaných dat těmito popisky. Jako příklad lze uvést využití prstencových map [ZHAO A KOL., 2008], kdy je možné zobrazit více druhů nejistoty právě pomocí informací mimo samotná data. Z širokého výběru metod, které jsou používány pro vizualizaci nejistoty, lze metody dále sdružovat do několika hlavních skupin: skupiny založené na využívání parametrů barvy (tón, odstín a jas), metody založené na rozostření, které mění ostrost, rozmazání nebo rozlišení a metody, které mění geometrický tvar objektu. Určení proměnných v zobrazení nejistoty je velmi subjektivní a jednotliví autoři se v rámci tohoto tématu často rozcházejí. Obecně platí, že poměrně velké množství proměnných bylo navrženo za konkrétním účelem, méně jich bylo vyvinuto a ještě mnohem méně jich bylo hodnoceno na uživatelské úkony. Kartografické metody pro zobrazení nejistoty tak nejčastěji využívají již zmiňovanou Bertinovu teorii, případně další publikované přístupy. Ucelený přehled lze nalézt v práci Huntera a Goodchilda [HUNTER A GOODCHILD, 1993]. Kromě toho existuje značný počet zobrazovacích metod, které jsou k dispozici pro vizualizaci nejistoty především v GIS modelech. Různá další dělení je možné najít v publikacích dalších autorů [GERSHON, 1998; GRIETHE A SCHUMANN, 2006; PANG A KOL., 1997; POTTER A KOL., 2012].

Mezi nejdůležitější přístupy a metody patří:

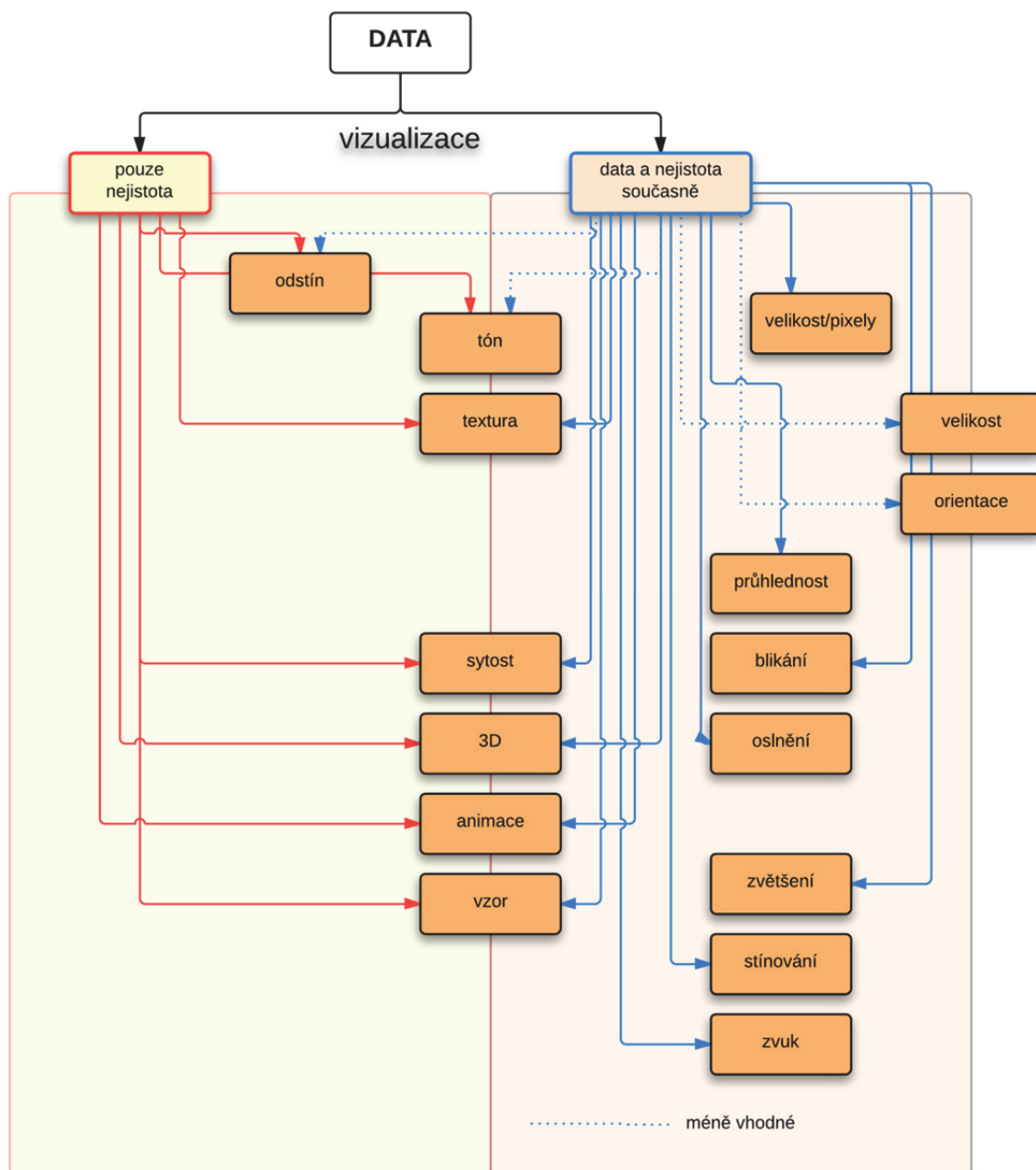
- **Využití vizuálních proměnných:** barvy [POTTER A KOL., 2009; SLOCUM A KOL., 2003], velikosti, pozice, ostrosti, jasnosti, „fuzziness“, saturace, průhlednosti a ostrosti hran. Lze také nalézt případy využití jiných barevných modelů [BURT A KOL., 2011; HENGL, 2003] nebo aplikaci různých textur nebo Perlínova šumu [CONINX A KOL., 2011].
- **Přidané objekty:** popisky, obrazy nebo symboly (glyfy). V práci Wittenbrinka [WITTENBRINK A KOL., 1996] jsou reprezentovány přístupy ve využití glyfů právě pro vizualizaci nejistoty [ZEHNER A KOL., 2010]. Problém většiny technik založených na glyfech je, že vnímání velikosti glyfů uživatelem často závisí na směru pohledu. Vnímání velikosti glyfů může být také ovlivněno okolní scénou, která může vytvářet iluzi změny velikosti [STERZER A REES, 2006].
- **Animace:** pro vizualizaci nejistoty je využito standardních parametrů – počet změn, změna polohy, průhlednost, pořadí, datum zobrazení, frekvence, synchronizace [GERHARZ A PEBESMA, 2009].
- **Interaktivní reprezentace:** nejistotu lze například zobrazovat pomocí interakce myši [VAN DER WEL A KOL., 1998].
- **Sonifikace a psycho-vizuální vizualizace:** vnesení akustických proměnných pro vizualizaci nejistoty (změna rytmu, hlasitosti, vibrací nebo pomocí blikajících textových zpráv [FISHER, 1994; LODHA A KOL., 2001]). Zásadní problém při využití zvuku je skutečnost, že zvuk je většinou spojen pouze s konkrétními body, zatímco grafické metody umožňují globální pohled na danou situaci.

Poměrně méně vizualizačních metod bylo vytvořeno za účelem vizualizace nejistoty v případě 3D vizualizací. Z běžných technik se využívá barva, průhlednost, textura a přidané objekty. Dalším způsobem může být využití objemového renderování [DEITRICK, 2007] nebo tvorba isopovrchů [LUCIEER, 2006] a dalších postupů [JONES A KOL., 2013]. Uvedené metody a vizuální proměnné jsou rozděleny podle jejich vhodnosti při použití kombinovaných nebo srovnávacích map (obr. 6.4).

I přes velké množství navržených metod (obr. 6.3) stále zůstává nezodpovězeno velké množství otázek spojených s vizualizací nejistoty. Díky velkému množství metod pro různé typy dat chybí ucelený přehled všech metod, již zmiňovaná komplexní typologie vizualizace nejistoty a převážně nástroje, které by s vizualizací nejistoty dovedly jednoduše pracovat. Pro jednotlivé techniky je nutné vybírat specifické programové prostředky. Z tohoto pohledu je nutné mít o metodách přehled a je důležité vědět, kde jednotlivé metody v konkrétních programech najít a jak je použít. Tato skutečnost zcela jistě brání ve větším rozšíření těchto vizualizací. Je vhodné podotknout, že nejpůsobivější vizualizace nejistoty byly vždy vytvářeny týmem vědců a specialistů jak na uvedenou doménu tak také na kartografické vizualizace. Důvodem je právě složitost samotných vizualizačních technik a jejich softwarová náročnost. V neposlední řadě velký počet vizualizačních technik postrádá výsledky, které by kvantifikovaly jejich dopad na rozhodovací procesy. Proto zůstávají některé vizualizační techniky pouze možností, jak nejistotu vizualizovat, bohužel bez jednoznačné odpovědi na otázku smysluplnosti takovýchto vizualizací.



Obr. 6.3 Přehled jednotlivých metod vizualizace nejistoty; vychází z kombinace poznatků z publikací [AERTS A KOL., 2003; DRECKI, 2009; GRIETHE A SCHUMANN, 2006; MCGRANAGHAN, 1993; PANG, 2001; SENARATNE A KOL., 2012; SLOCUM, 2005]



Obr. 6.4 Shrnutí vizuálních proměnných a některých vizualizačních a dalších technik

7 PŘÍPADOVÉ STUDIE

Většina kartografických výstupů, převážně pak v podobě tištěných map, je uživateli vnímána reprezentativně a autoritativně. Jakkoli důvěryhodně však mapy vypadají na první pohled, je při jejich užívání nutné počítat s jistou dávkou nejistoty v datech a také v samotné vizualizaci. U velké části map tato nejistota nemá zásadní význam a v důsledku toho je také velká část populace zvyklá mapy běžně využívat a považovat informaci obsaženou v mapách za pravdivou. Například v případě prostorové přesnosti hranic států, okresů a jiných administrativních jednotek je chyba většinou vzhledem k použitému měřítku mapy zanedbatelná a tuto informaci tak většina uživatelů bere jako odpovídající obraz reality. Diametrálně odlišná situace však může nastat při vizualizaci dat obsažených většinou ve specializovaných tematických mapách. Mapy předpovědi počasí, potenciálního úniku znečištění, krajinné pokrývky, složení půd a řada dalších obsahují značnou míru aproximace a s tím spojené nejistoty. V tomto případě použití pouze jednoduchých vizualizací může vést k nepřesným výsledkům a nedorozuměním. Vizualizace nejistoty proto v mnoha případech pomáhají odhalit a vyjádřit realitu více přesně [ZHANG A GOODCHILD, 2002] a mohou být způsobem, jak následně zvýšit začlenění nejistých dat do rozhodovacích procesů. Navíc právě geovizualizace odvozené na základě GIS analýz environmentálních dat slouží k široké řadě účelů jako je plánování, analýza, odvozování a již zmíněné rozhodování [MONMONIER A BRANDEN, 1997]. Navzdory svému potenciálu tak mapy mohou být zavádějící a dokonce i kontroverzní, v případech, kdy je obsahová stránka podhodnocena nebo nadhodnocena [MONMONIER, 1996]. Podhodnocená obsahová stránka může být také zcela zásadní u mapových výstupů vztažených ke krizovému managementu. Časové a věcné hledisko v tomto případě dává vizualizacím nejistoty zcela nový rozměr. Pokud je mapa používána jako komunikační prostředek pro sdělování geoprostorové informace, je nutné do procesu mapové tvorby zahrnout i jednotlivé údaje o povaze a kvalitě zobrazovaných dat tak, aby byl výsledný přenos informací efektivní a nedocházelo k desinterpretaci dat. Uvedenou situaci si i odborná veřejnost začala uvědomovat především díky zvyšující se dostupnosti rastrových, vektorových a vícerozměrných dat v rámci environmentálních studií. Díky této zkušenosti jsou v posledních několika letech vizualizace nejistoty environmentálních dat v zájmu velké skupiny odborníků, protože velká část mapových výstupů vzniklá v rámci environmentálních studií je určena právě na podporu rozhodování. V kontextu předešlých informací tak potřeba nejistoty vizualizovat následně přinesla výzvy k novým přístupům a k nalezení lepších strategií, jak se vypořádat s tímto specifickým druhem informací. I přes velký potenciál vizualizací nejistoty popsany v jednotlivých kapitolách práce je vždy nutné počítat převážně s potenciálními čtenáři mapy a vzít v potaz i účel, pro jaký je mapa určena. Je zcela zásadní racionálně zvážit, zda má v daném případě vizualizace nejistoty smysl. Pokud je následně vizualizace nejistoty potřebná, je nutné využít vhodnou metodu a zvolit takový postup, aby neodcházelo k prezentaci zavádějících vizualizací a metoda byla správně pochopena. V této kapitole bude proto na základě případových studií demonstrována účelnost zvolených vizualizací. V každé studii je uveden rozbor jednotlivých komponentů kvality dat, popsána metoda pro výpočet nejistoty a vybraný prvek kvality dat je vizualizován s důrazem na to, aby čtenář mapy byl schopen vizualizaci pochopit a následně začlenit do rozhodovacího procesu. U všech studií jde primárně o vizualizaci nejistoty, proto není detailně rozebírána problematika jednotlivých výpočtů nejistoty.

7.1 Územní plánování a suburbanizace na příkladu města Olomouce – vizualizace stabilních ploch

Pro lepší orientaci v následujícím textu je vhodné vymezit hlavní používané pojmy. Označení „environmentální“ bývá nejobecněji chápáno jako „týkající se životního prostředí“ a je spojováno hlavně se společenskými a hodnotovými aspekty, na rozdíl od pojmu „ekologický“, který se častěji vztahuje k ekologii jako biologické disciplíně. V rámci environmentálních studií a kontextu této disertační práce je proto důležité uvažovat také v širších souvislostech, proto je možné při vizualizaci nejistoty vzít v potaz například i oblast územního plánování a urbanismu. Jedním z důvodů je skutečnost, že se environmentální studie často transformovaly do vážného odborného zájmu, který se projevil i v oblasti architektonické, lépe urbanistické a ještě lépe prostorově plánovací. Z tohoto pohledu je pak samotné územní plánování oblastí, kde lze demonstrovat negativní vlivy lidské činnosti na přírodní prostředí, ale zároveň také nalézt teoretické a praktické návrhy, jak tyto problémy architektonicky či urbanisticky řešit. Důležitým ukazatelem míry urbanizačních procesů jsou analýzy funkčních ploch. Z informací získaných analýzou funkčních ploch lze následně odvozovat další ukazatele jako míru suburbanizace, stabilní plochy a další cenné informace. Základem mnoha environmentálních urbanizačních studií jsou z tohoto důvodu současné a historické územní plány a další dokumenty. Vystává zde však celá řada problémů spojených právě s rozdílnou kvalitou těchto dokumentů. Jedním z důvodů je skutečnost, že se územní plány a jejich tvorba v průběhu posledního století v České republice zásadně měnily. Z pohledu kartografie se měnily a vyvíjely zejména použité mapové podklady nebo měřítko mapových výstupů [BURIAN A KOL., 2013]. Výraznými změnami prošly také kartografické vyjadřovací prostředky, použitá symbolika, úroveň generalizace a v neposlední řadě i způsob jejich zpracování od plně manuálního až po dnešní plně digitální řešení. Nejen vizualizační, ale také obsahová stránka územních plánů, dostala v posledním století celé řady změn. Na základě uvedených poznatků je nutné při studiích těchto materiálů postupovat kriticky a dokumentovat možné nepřesnosti a chyby vznikající transformací, slučováním kategorií, rozklíčování jednotlivých legend a mnohými dalšími postupy. Při následné reprezentaci výsledků vzniklých na základě analýz těchto dokumentů se otevírá prostor pro vizualizaci nejistoty. Z tohoto důvodu je první případová studie zaměřena na možnosti vizualizace kvality dat získaných při studiu historických a současných územních plánů.

7.1.1 Popis dat, postup práce a vymezení problému

Díky kompletní sadě všech územních plánů města Olomouce vzniklých v průběhu 20. století bylo možné provést analýzu vývoje města s ohledem na změny a stabilitu funkčních ploch. Stěžejními materiály v této případové studii byly územní plány Olomouce 20. století (obr. 7.1), kdy v průběhu 20. století byly vytvořeny celkem čtyři územní plány (ÚP). Prvním dokumentem je tzv. *plán Velký Olomouc* z roku 1930. Druhý dokument pochází z roku 1955 a nese název *Směrný územní plán města Olomouce*. Třetí územní plán pochází z roku 1985 a je označován jako *Olomouc – územní plán*. Poslední, doposud platný územní plán, pochází z roku 1999 a nese název *Olomouc – Funkční regulace, limity využití území*. Technické zpracování jednotlivých výkresů odpovídalo době jejich vzniku. S výjimkou ÚP z roku 1999 se plány nacházely na několika arších papíru. Staré územní plány, tj. ÚP z roku

1930, 1955 a 1985, byly vytvořeny ručně, bez použití počítačové techniky, a tak se na ně vztahovalo množství omezení.



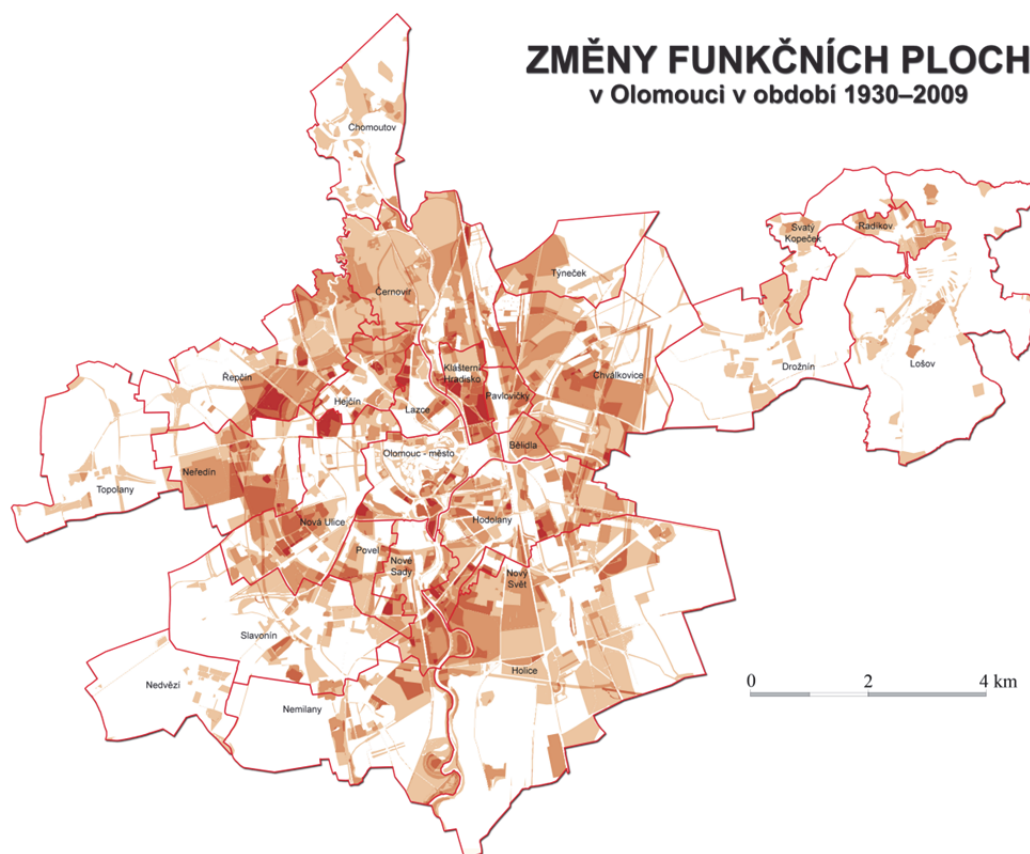
Obr. 7.1 Srovnání jednotlivých územních plánů
(na obrázku je patrná použitá barevná škála i čitelnost jednotlivých výkresů)

Tehdejší zhotovitelé ÚP museli použít pouze takové kartografické vyjadřovací prostředky, které byli schopni zakreslit ručně, ať už se jedná o tloušťku čar či složitost šraf. Proto ve starších územních plánech nemohlo být znázorněno takové množství informací, jako v současně vyhotovovaných územních plánech. Pro následné analýzy v GIS bylo nutné všechny územní plány převést do digitální podoby, kdy byl zvolen následující postup: starší územní plány byly nejprve naskenovány na velkoformátovém skeneru a následně georeferencovány do souřadnicového systému S-JTSK. Pro studii byla vybrána afinní transformace s použitím vlíčovacích bodů. Jako podklad pro georeferencování byla využita katastrální mapa získaná pomocí WMS služby od ČÚZK. Bezproblémové bylo převedení územních plánů z let 1955 a 1985, kdy oba tyto výkresy byly vyhotoveny v systému S-JTSK. Transformace poté spočívala pouze v umístění obou výkresů do souřadného systému, kdy bylo také relativně snadné nalézt vhodné vlíčovací body. Situace se komplikovala u nejstaršího územního plánu, který byl vytvářen na podkladu topografické mapy. Z tohoto důvodu obsahoval jen málo význačných a stálých objektů, které bylo vhodné použít právě jako vlíčovací body. Navíc tento plán nebyl vyhotoven v systému S-JTSK, a tak musela proběhnout jeho transformace. Během transformace docházelo k chybám, z tohoto důvodu bylo nutné se vzniklou chybou počítat také při následné vizualizaci výsledků. Po úspěšném georeferencování všech plánů bylo nutné je převést do vektorové podoby, přičemž digitalizace byla velmi časově náročná a také poměrně nejistá vzhledem k objektivní realitě. Během vektorizace byly jednotlivé kategorie funkčních ploch zaznamenávány do atributové tabulky dané vrstvy, kdy ale správnou interpretaci stěžovalo převážně nepřesné provedení tehdejších územních plánů. Proto bylo nutné pro správnou interpretaci tohoto územního plánu využít také dalších podkladů, zejména dobových topografických map. Zcela jednoznačně bylo nutné počítat s rozdílnou atributovou přesností jednotlivých kategorií, protože se vždy jednalo o subjektivní zařazení do dané kategorie. Digitální prostorová

datovába územních plánů následně sloužila jako základ všech analýz, které byly dále zpracovány v prostředí GIS [BURIAN A KOL., 2013]. Jednalo se především o analýzu překryvů (overlay analysis), která sloužila pro vyhodnocení stabilních funkčních ploch. Právě při exaktním srovnávání těchto ploch se v kontextu tématu této disertační práce vynořují problémy a prostor pro vizualizaci nejistoty. Prvním a zásadním problémem je nejednotnost legendy, kdy legendy jednotlivých ÚP měly rozdílné počty a pojetí kategorií a byly navíc různě strukturované. Komplikace spočívala především v dělení na statuty stav/návrh/výhled. Absence této struktury u dvou nejstarších územních plánů poté neumožňovala následnou práci při srovnávacích analýzách. Proto byl při následném porovnávání územních plánů brán v úvahu vždy u všech kategorií pouze návrh.

Tab. 7.1: Jednotlivé komponenty kvality dat vztažené ke studii územních plánů

| Kategorie nejistoty | Definice | Příklad nejistoty v případové studii |
|----------------------------|--|---|
| Polohová přesnost | Rozdíl mezi pozorováním a realitou. | Přesnost nejstaršího územního plánu, který byl vytvářen na podkladu topografické mapy. Možné chyby vzniklé georeferencováním. |
| Časová přesnost | Časové rozpětí od vzniku přes shromažďování / zpracování použití. | Poslední územní plán je z roku 1999. Analýzy jsou platné pouze k tomuto datu. |
| Atributová přesnost | Spolehlivost přiřazených hodnot prvků v datové množině ve vztahu k jejich skutečnému významu. | Nesourodost jednotlivých legend. |
| Sémantická přesnost | Jak dalece hodnoty daného atributu odpovídají skutečnosti | Správnost rozklíčování dané kategorie legendy. |
| Úplnost | Míra, do jaké je informace komplexní. | Různé velikosti území, které bylo zachyceno na územních plánech. |
| Konzistence | Určení do jaké míry jednotlivé složky souhlasí. | Vytváření plánů v jiných obdobích, jinou technikou (ručně, digitálně). |
| Důvěryhodnost | Spolehlivost informačního zdroje. | Nelze s jistotou tvrdit, že starší územní plány jsou zcela přesné, nelze reálně ověřit. |
| Homogenita | Stejnorodost v rámci datové sady | Polohová přesnost mimo oblast vlíčovacích bodů. |
| Rodokmen | Způsob jakým byly informace získány/předány. | Způsob vzniku starých plánů se špatně ověřuje. |
| Rozlišení | Přesnost měření / odhad. | Rozlišení jednotlivých vrstev pro výpočet stabilních ploch. |
| Subjektivita | Míra s jakou je do výsledku zahrnut lidský výklad nebo rozhodnutí a jak se uvedené následně promítá do výsledku. | Ruční vytváření starších územních plánů více autory. |



Obr. 7.2 Změny funkčních ploch v Olomouci v období 1930–2009

Druhým problémem případové studie byla různá velikost území, které bylo zachyceno na územních plánech. Velikost území se vždy odvíjela od aktuální administrativní hranice Olomouce v daném období. Pro exaktní srovnávací analýzy bylo tedy možné počítat pouze s plochou, která je průnikem všech sledovaných plánů. Ve skutečnosti se tato plocha velmi přibližuje vymezení nejstaršího územního plánu z roku 1930. Posledním a následně vizualizovaným problémem je prostorová přesnost jednotlivých kategorií funkčních ploch. Jednotlivé plochy byly vektorizovány na základě podkladů, které byly velmi nesourodé, a každá vrstva vstupující do analýzy pocházela z jiného územního plánu. Územní plány se lišily především již zmíněnou legendou, ale také polohovou přesností. Souhrn všech problematických oblastí případové studie s přihlédnutím ke kvalitě dat popisuje tabulka 7.1. Pro překryvné operace byly následně použity vrstvy ze všech územních plánů. Jednalo se o vizualizaci stabilních ploch (obr. 7.2), kdy jsou na mapě znázorněny lokality, které prodělaly různý počet změn funkčního využití a s rostoucí intenzitou barvy roste i počet změn typů funkčních ploch. Stabilní funkční plochy je možné sledovat pouze v průnikovém území (masce), tj. v území, které pokrývají všechny čtyři územní plány. Zabírají přibližně 1 100 hektarů, což je více než čtvrtina rozlohy sledovaného území.

7.1.2 Metody

Pro vizualizaci polohové přesnosti byl zvolen výpočet prostorové entropie, jakožto ukazatele nejistoty [BRUS A KOL., 2013A]. Entropie je střední hodnota míry informace kodstranění nejistoty, která je dána konečným počtem vzájemně vylučujících se jevů

[KOMENDA, 1991]. Zakladatel pojmu entropie C. E. Shannon definoval entropii následovně [SHANNON A WEAVER, 1949]: pro systém s konečným počtem možných stavů $S \in \{s_1, s_2, \dots, s_n\}, n \leq \infty$ a pravděpodobnosti jejich výskytu $P(s_i)$ je informační entropie definována:

$$H(S) = \sum_{i=1}^n P(s_i) \log_2 P(s_i)$$

Entropie je maximální, když jsou pravděpodobnosti výskytu vylučujících se stavů stejné (rozdělení je rovnoměrné): $H(S_{max}) = \log_2 n$, tedy právě tehdy, když

$$P(s_i) = \frac{1}{n} \text{ pro } \forall i$$

Entropie je minimální, pokud jsou všechny pravděpodobnosti $P(s_i)$ rovny nule, kromě jedné, jež nabývá hodnoty 1. Musí tedy platit: $H(S_{min}) = 0$ právě tehdy, když platí

$$\exists P(s_k) = 1 \text{ a } P(s_i) = 0 \text{ pro } \forall i \neq k$$

Možnosti výskytu jedné či druhé eventuality entropie klesá, až nastane $H = 0$ a entropie je minimální (jedna z eventualit nastala) [TUČEK A KOL., 2009].

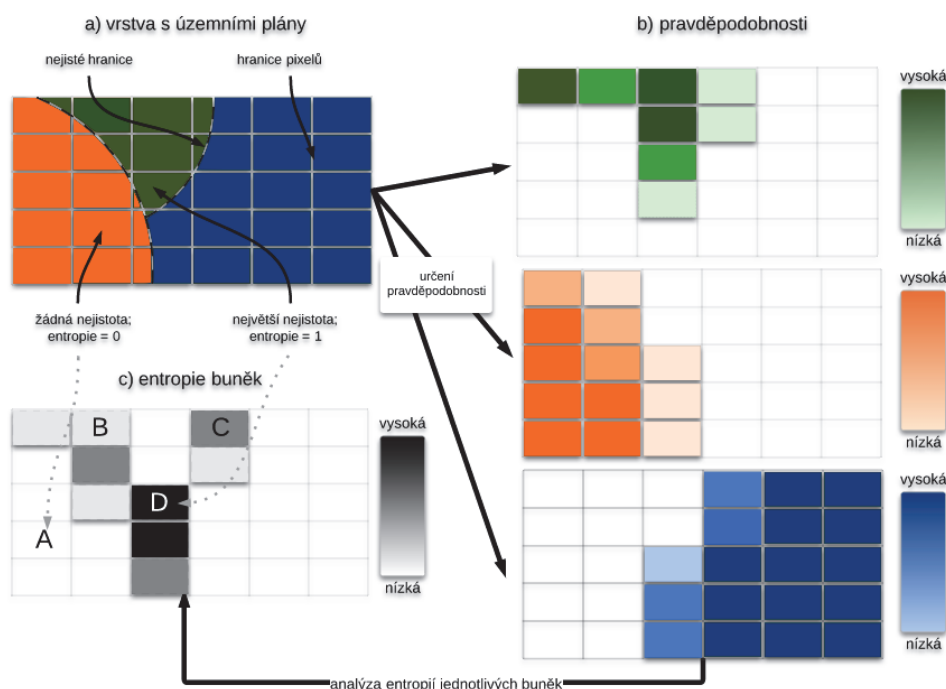
V prostorovém kontextu lze entropii interpretovat s ohledem na modelovanou oblast (grid) jako množství chybějící informace, neboli nejistoty s přihlédnutím k diskrétním vlastnostem buňky [WELLMANN A REGENAUER-LIEB, 2012]. V tomto pojetí je chybějící informací příslušnost ke konkrétní funkční ploše, protože vzhledem k chybám na územních plánech a také vlivem samotného přenosu analogového plánu do digitální formy docházelo ke vzniku nejistoty. Z tohoto pohledu lze uvažovat o příslušnosti dané buňky ke konkrétní funkční ploše 1 nebo 2, až M . Pro každý diskrétní subregion je poté možno entropii popsat jako:

$$H(x, t) = \sum_{m=1}^M p_m(x, t) \log_2 p_m(x, t)$$

kde x je poloha daného subregionu a M počet možných funkčních ploch, které může subregion obsahovat, t poté může zastupovat čas, nebo jiný parametr, který popisuje vývoj modelu. Pomocí tohoto modelu lze vizualizovat nejistotu jednoduchým způsobem [WELLMANN A REGENAUER-LIEB, 2012]. Pro názornost lze situaci demonstrovat na příkladu (obr. 7.3), kdy je mapa rozdělena na diskrétní buňky v mřížce (a), kde může každá buňka obsahovat tři možné funkční plochy.

Odtud lze získat pravděpodobnosti pro výskyt dané funkční plochy pro každou buňku (b). S využitím zmíněné rovnice lze pro každou buňku s polohou x vypočítat jednotlivou entropii (b). Na základě tohoto výpočtu lze poté odvodit, že entropie je nulová, pokud je pravděpodobnost jedné funkční plochy 1 a ostatních 0 (buňka A). Naopak v buňkách, kdy je pravděpodobnost menší než 1 alespoň u dvou funkčních ploch se entropie zvyšuje (B, C) až do situace, kdy je pravděpodobné, že se může jednat o buňku s výskytem všech třech

funkčních ploch (D). V tomto případě je poté entropie a v kontextu práce nejistota největší. Upravený koncept byl následně použit pro výpočet entropie pro již zmiňované územní plány (obr. 7.1).



Obr. 7.3 Ukázka využití výpočtu entropie pro vizualizaci nejistoty (a) rozdělení mapy s nejistými kategoriemi na pravidelnou mřížku; (b) pravděpodobnosti možných výstupů pro každý typ funkční plochy a každou buňku; (c) znázornění informační entropie pro každou buňku, kde entropie je 0 pro oblasti, kde neexistuje žádná nejistota a 1 pro buňky, kde je naopak nejistota největší; upraveno podle [WELLMANN A REGENAUER-LIEB, 2012]

Pro výpočet entropie byl použit *Shannon's Index Tool* dostupný v rámci extenze *Land Facet Corridor Designer* [JENNESS A KOL., 2011]. Ten stanovuje entropii s využitím „circular neighborhood“ na základě následující rovnice:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

kde:

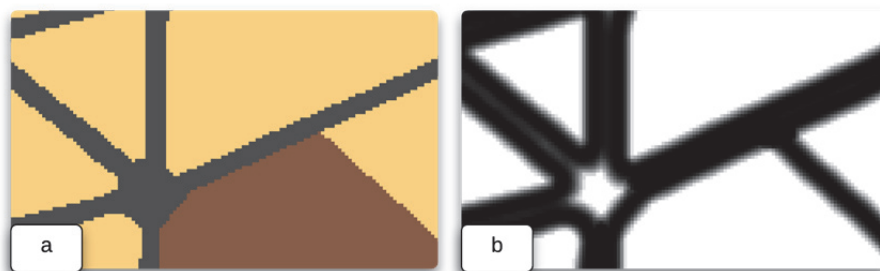
$p_i = \frac{n_i}{N}$ = podíl pozorování v krajinných ploškách (funkčních plochách),

n_i = počet pozorování v krajinných ploškách,

N = celkový počet pozorování,

S = celkový počet krajinných plošek.

Výsledkem je Shannonův index, který nabývá hodnot v rozmezí od 0 do $\ln(S)$, kde S = počet unikátních kategorií (polygonů funkčních ploch).



Obr. 7.4 Detailní výřez rastru územního plánu z roku 1933 (a) a jeho vypočítaná entropie (b)

Pro jednotlivé dílčí územní plány byly vypočítány konkrétní entropie, kdy bylo podle přesnosti jednotlivých územních plánů přistoupeno ke zvolení odlišných parametrů nastavení extenze. Pokud byly plány starší a bylo pravděpodobné, že polohová a atributová přesnost bude malá, byl zvolen větší poloměr, se kterým extenze počítá při výpočtu entropie. Následně byly výsledné rastry kontrolovány oproti základní vektorové vrstvě s cílem najít optimální nastavení a pomocí entropie demonstrovat možnou nejistotu způsobenou výše popsány problémy. Díky tomuto přístupu bylo následně možno zakomponovat odlišnou polohovou nejistotu jednotlivých plánů do výsledné vizualizace. Pro následný výpočet celkové nejistoty bylo využito funkce *Raster Calculator* v *ArcGIS for Desktop 10.1*, kdy byly jednotlivé rastry entropií sečteny a následně reklasifikovány do pěti tříd. Tyto třídy ve výsledku určují pět kategorií nejistoty, které byly následně vizualizovány. Výsledný rastr (obr. 7.5), zobrazuje propagaci jednotlivých nejistot do výsledné vizualizace analogicky se způsobem, jakým byly vypočítány jednotlivé počty změn funkčních ploch v původní mapě bez nejistoty. Vzhledem ke zjednodušení celé situace pomocí vypočtené entropie je přesto nutné na uvedené výsledky pohlížet kriticky.

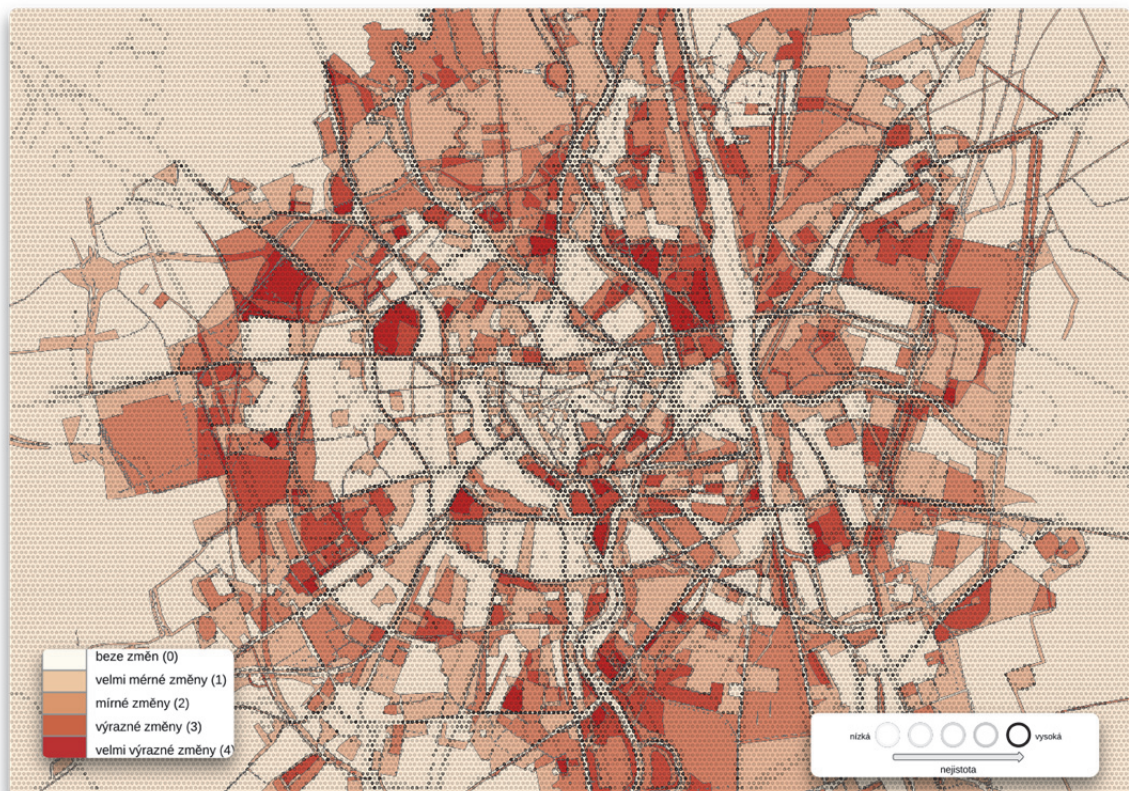
7.1.3 Výběr prostředků a metod vizualizace nejistoty

V případě vizualizace změn funkčních ploch byla ve všech případech volena metoda, která umožňovala zachovat stávající formu vizualizace. Vnitřní metody využívající parametr barvy jako způsob vizualizace nejistoty nebylo možné využít z důvodu původní vizualizace pomocí kvantitativní stupnice pro zobrazení sekvenčního jevu. Hlavním důvodem byla skutečnost, že by v opačném případě musel být počet změn funkčních ploch prezentován jinou vizuální proměnou vhodnou pro kvantitativní data. Tímto by se nejistota stala hlavní informací v mapě, což nebylo žádoucí.

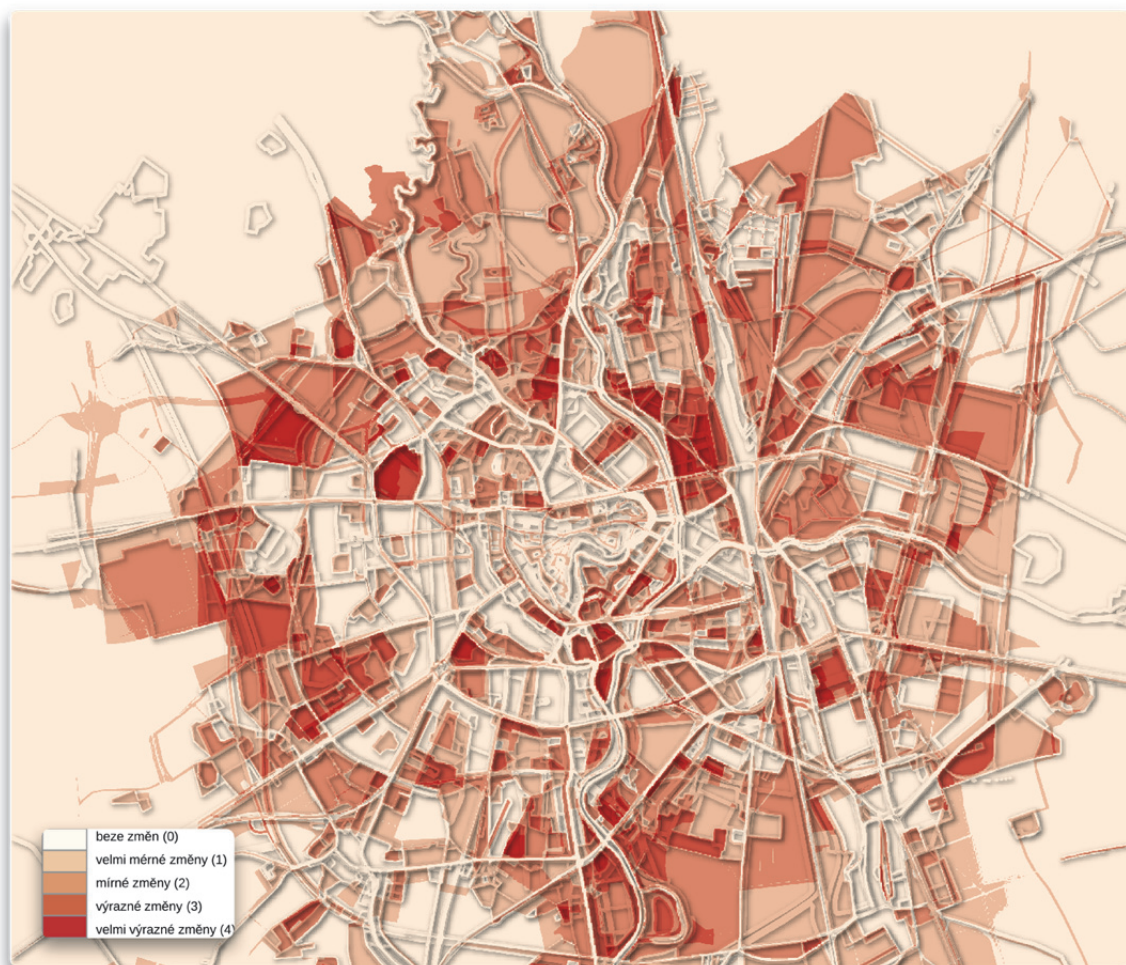
Pro vizualizaci byla zvolena vnější metoda využívající bodově lokalizované geometrické znaky. Metoda byla představena jako *Fuzzy dot method* [AHLQVIST, 2009]. Samotná metoda nemá žádné standardy, přestože existují doporučené postupy. U bodových znaků se využívá vizuálních proměnných (barva) a dalších parametrů (průhlednost, rozostření). *Fuzzy dot method* je tedy velmi užitečná metoda pro zobrazení těch geografických jevů, u kterých je z principu nevhodné dělit údaje podle ostré hranice (tzv. cut-off hranice). V případě vizualizace změn funkčních ploch byla využita vnější metoda a pomocí bodových znaků byla vizualizována nejistota odvozená od vypočítané entropie (obr. 7.6).



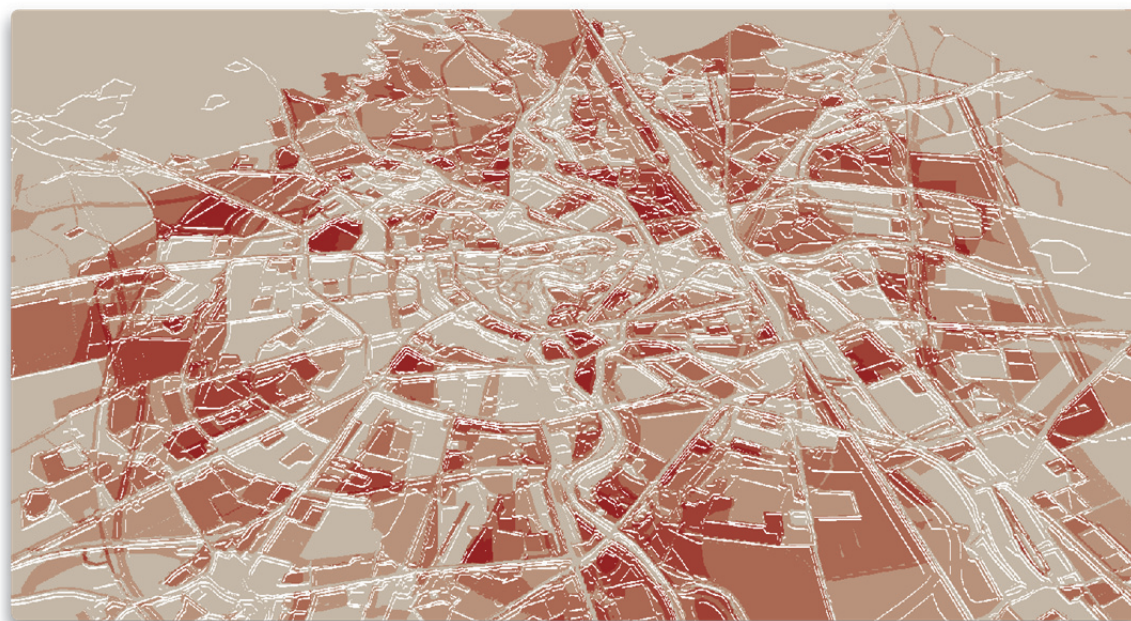
Obr. 7.5 Výsledný rastr sumy entropií v jednotlivých územních plánech (bez měřítka)



Obr. 7.6 Vizualizace nejistoty použitím fuzzy dot method (vyšší průhlednost teček určuje jistotu), legenda nejistoty je zvětšena kvůli čitelnosti (bez měřítka)

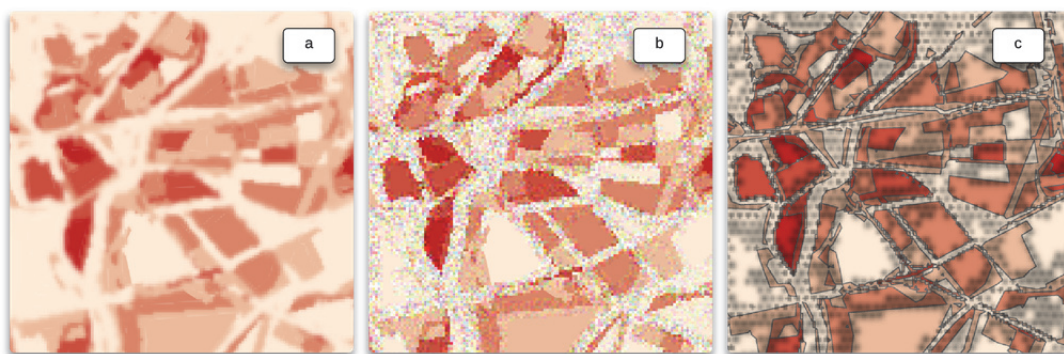


Obr. 7.7 Vizualizace nejistoty (polohové přesnosti) metodou stínovaných vrstev (opticky vyšší vrstvy zobrazují vyšší nejistotu) (bez měřítka)



Obr. 7.8 Vizualizace nejistoty stabilních funkčních ploch prostřednictvím 3D vizualizace (opticky vyšší místa zobrazují vyšší nejistotu)

Průhlednost teček na obrázku 7.6 určuje jistotu. Opačný přístup by vedl ke zvýšení komplexity mapy a zakrytí informace o počtu změn funkčních ploch na malých plochách. Pro vizualizaci nejistoty při 2D vizualizaci může být využito také optického zvýraznění nejistoty pomocí stínů [BRUS A KOL., 2013A; STEWART A KENNELLY, 2010; VAN DER WEL A KOL., 1998]. Z pohledu implementace této metody bylo nutné využít méně tradiční programové prostředky, protože GIS softwary tuto metodu ve své funkcionalitě neobsahují a je nutné využít především grafické programy. Jednotlivé kategorie nejistoty je navíc nutné exportovat ve vrstvách. Typ reprezentace poté určuje, zda se bude jednat o software zaměřený na vektorovou nebo rastrovou grafiku. *Adobe Photoshop* i *Adobe Illustrator* nabízejí možnost tvorby stínů, přesto při následné tvorbě stínovaného efektu je nutné vzít v potaz měkké a tvrdé stíny, proto byl vizualizaci na obrázku 7.7 zvolen software *Adobe Illustrator CS6*, který dokáže pracovat s vektorovým vyjádřením stínu. Nevýhodou tohoto přístupu jsou umělé stínové efekty v oblastech dobré kvality dat a také místa, kde díky stínům nejsou vidět podkladová data. Další metodou zvolenou pro vizualizaci nejistoty byla 3D vizualizace. Vypočítané nejistotě byl přiřazen parametr, který určoval výšku. Bylo nutné najít optimální řešení, protože malý 3D efekt neumožnil nejisté části mapy odlišit, naopak přílišná vysoká hodnota způsobovala zakrytí těch částí, kde byla nejistota zanedbatelná. Také nebylo využito stínování z důvodu již zmiňovaného zakrytí jiných částí výsledného obrazu. Vizualizace byla vytvářena v aplikaci *Esri ArcScene 10.1* a následně exportována jako 2D vizualizace. Pro lepší zobrazení nejistoty by bylo vhodnější využít nabízené interaktivity a možnosti rotace vzniklé vizualizace, 2D reprezentace má z tohoto důvodu značná omezení. Pro vizualizaci byly dále testovány různé filtry dostupné jak v *Adobe Illustrator CS6*, tak *Adobe Photoshop CS6*, popřípadě v *GIMP 2.8.4* a *INKSCAPE 0.48*. Výsledné vizualizace (např. s obsaženým šumem, Gaussovým rozmazáním) byly vzhledem k charakteru případové studie velmi komplikované, především vzhledem k malým detailům na územních plánech (obr. 7.9). Pro uživatele mapy, který nemá s vizualizací nejistoty předchozí zkušenosti, jsou proto tyto výstupy jen velmi obtížně použitelné.



Obr. 7.9 Různé metody vizualizace nejistoty stabilních funkčních ploch:
(a) Gaussovo rozostření; (b) šum; (c) fuzzy dot method s aplikací Gaussova rozostření

7.2 Vizualizace nejistoty v DEM – Rusavská hornatina

V mnoha environmentálních procesech hrají klíčovou roli data o zemském reliéfu, protože často mají velký vliv na řadu sledovaných charakteristik, mezi něž patří například teplota a srážky. Tvar reliéfu ovlivňuje také míru a rozsah zvětrávání, erozi, akumulaci hmoty na zemském povrchu a další [ARRELL, 2005; MOORE A KOL., 1991; PECHANEC A KOL., 2011c; WILSON, 2000]. V prostředí GIS je terénní reliéf prezentován jako skutečný obraz reality v podobě digitálních modelů. Pro environmentální analýzy a pro získání relevantních výsledků je kvalita digitálního modelu terénu (DEM) hlavním determinantem.

7.2.1 Vymezení problému

Kvalita DEM ve smyslu přesnosti dat závisí hlavně na podkladových datech a na zvolené interpolační metodě [WENG, 2002]. Na kvalitu podkladových dat má pak vliv především způsob shromažďování údajů. I když je poté vybrán nejlepší zdroj výškových dat, není zaručena přesnost DEM, protože je nutné zvolit také vhodnou interpolační metodu, přičemž do zpracování vstupuje řada vnějších faktorů, především v podobě nastavení parametrů zvolené interpolace. Chyby obsažené v DEM mohou být systematické a nesystematické. Tyto chyby mohou negativně ovlivnit výsledky prováděných analýz, proto je jim věnována pozornost. Existují tři základní typy chyb [HENGL A KOL., 2003; KLINGSEISEN, 2004]: hrubé chyby, systematické chyby a náhodné chyby.

Hrubé chyby jsou výsledkem interakce s lidským faktorem a může k nim dojít kdykoliv během zpracování [WECHSLER, 1999; WISE, 2000]. Chyby tohoto typu jsou nejčastěji detekovatelné jako hodnoty extrémní (maximální nebo minimální), proto je možné je snadno najít a odstranit. Systematické chyby většinou vznikají při samotném měření nebo při následném zpracování dat [WISE, 2000]. Obvykle se tyto chyby vyskytují v určitém cyklu a chovají se podle pravidel, často také mají na celé ploše stejnou velikost. Ne vždy musí mít tyto chyby velký vliv na kvalitu výstupního DEM. V mnoha měřeních jsou však přítomny i náhodné chyby, které nemohou být efektivně vyhledány a modelovány. Jejich distribuce odpovídá normálnímu rozdělení [LÓPEZ, 2000].

Existuje řada metod stanovení nejistoty v DEM. Nejrychlejším způsobem, jak odhalit chyby, je vizuální kontrola, která umožňuje identifikaci chyb způsobených nedostatkem vertikálního rozlišení a problémy místních anomálií. Existují však i více sofistikované způsoby hledání chyb, přičemž tyto metody jsou založeny převážně na statistickém vyhodnocení. Mezi nejčastěji používané patří například střední chyba (RMSE), absolutní chyba (AE) a Hammock index. RMSE vyjadřuje, do jaké míry se interpolované hodnoty liší od reálně naměřených hodnot, přičemž vyšší hodnota odpovídá většímu rozdílu mezi porovnávanými soubory údajů [WOOD, 1996]. Celková absolutní chyba ukazuje součet všech odchylek od referenčních dat v kladném i záporném směru. Hammock index hodnotí rovnoměrnost rozdělení interpolovaných hodnot, včetně výskytu pixelů s hodnotami shodujícími se s naměřenými údaji ve smyslu vyrovnané četnosti hodnot pixelů mezi známými hodnotami vrstevnic [WOOD, 1996].

Všechny uvedené metody používané k hodnocení digitálních modelů reliéfu (RMSE, absolutní chyba a Hammock index) jsou však globální a nevypovídají o prostorové diferenciaci. Jejich výhody jsou nesporné, především se jedná o snadný výpočet a interpretaci. Především v oblasti environmentálních studií je však velmi důležité znát také prostorovou variabilitu vyskytujících se chyb. Mnoho autorů [DESMET, 1997; ERDOGAN, 2009; FISHER, 1998; GAO, 1997; HOFIERKA A KOL., 2007; HUNTER A GOODCHILD, 1997;

SVOBODOVÁ A VOŽENÍLEK, 2010; WISE, 2000] uvádí, že míra chyb v digitálních modelech terénu závisí především na charakteru terénu a je prostorově variabilní.

Součástí posuzování kvality DEM jsou i metody pro stanovení nejistoty prezentovaných dat. Pro rozhodovací procesy a další zpracování informace uživateli je důležité také následné pojetí vizualizace této nejistoty prostřednictvím metod kartografické vizualizace. Způsob, jakým jsou informace o nejistotě prezentovány uživatelům, mohou mít kritický vliv na správnost jejich rozhodování. Vizualizace nejistoty přitom umožňuje uživatelům pochopit variabilitu přirozeného prostředí mnohem komplexněji, než většinou používané vizualizace bez znázornění nejistoty. Problematické vyjádření nejistoty v DEM vedlo k vývoji speciálních aplikací dosud známých metod kartografické vizualizace, a to tak, aby byly informace uživatelům poskytovány v co nejpřehlednější podobě. Tato případová studie proto byla zaměřena na volbu metod vizualizace nejistoty v digitálních modelech terénu s důrazem na percepci uživatelů.

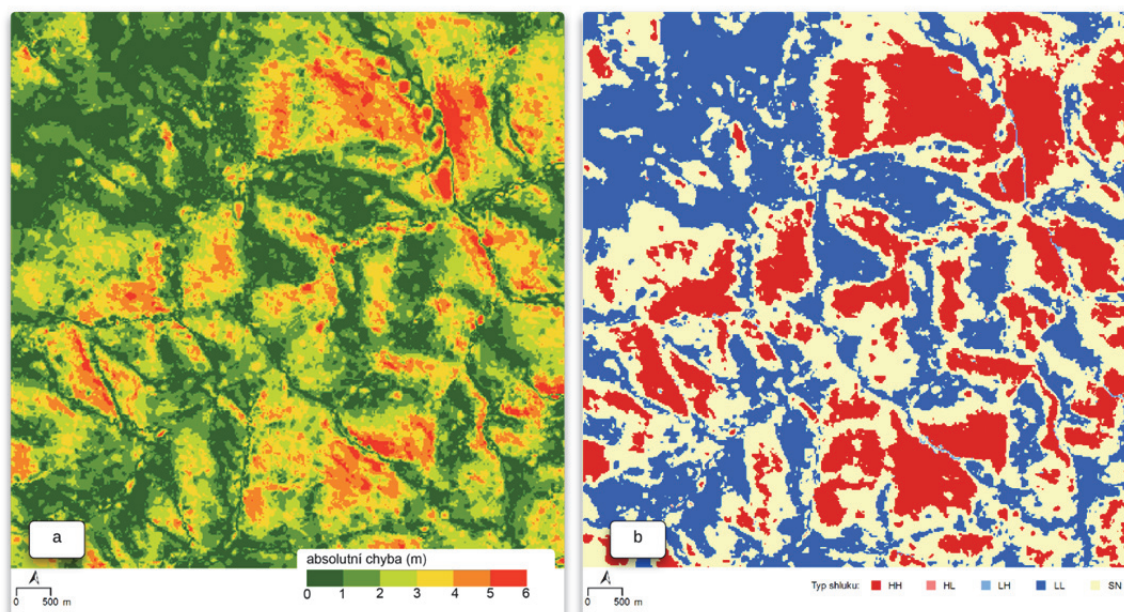
Metody pro prostorové hodnocení přesnosti DEM

Příkladem přístupu, kdy byla vyjadřována velikost chyby s ohledem na prostorovou variabilitu, je tvorba mapy vyjadřující chybu prostřednictvím velikosti u bodového symbolu umístěného v lokalizaci referenčních bodů. Erdogan [ERDOGAN, 2009] nazývá tento způsob vyjádření jako speciální aplikaci kartogramu. Gousie [GOUSIE A FRANKLIN, 1998] používá pro vizualizaci prostorové přesnosti digitálních modelů terénu kalkulaci absolutní lokální odchylky (d). Ta představuje rozdíl mezi DEM a odpovídajícími hodnotami z původních vrstevnic. Hodnota d by neměla být větší než 5 % vstupního intervalu vrstevnic (c). Tento vztah je vyjádřen jako $p=d:c$. Felicismo popisuje v publikaci [WISE, 2000] možnost, jak znázornit povrch vyjadřující současně přesnost DEM. Aby byl takový povrch vytvořen, použije se zonální statistika, v rámci níž je odečtena hodnota centrálního pixelu od průměru okolních hodnot. V závislosti na charakteru vyhlazení povrchu by většina těchto rozdílů měla být malá. Nejjednodušším způsobem, jak získat hodnoty místních odchylek, je odečtení odhadovaných hodnot výšky DEM od referenční plochy, je-li k dispozici, případně od referenčních bodů. Tyto rozdíly pak mohou být použity například pro výpočet celkové absolutní chyby [SVOBODOVÁ, 2011].

Základním nedostatkem výše uvedených metod je prostorová vizualizace absolutních nebo relativních hodnot, bez stanovení významnosti velikosti chyby. Tyto hodnoty však lze použít pro lokální klastrové analýzy (LISA) s cílem najít statisticky významné shluky vysokých hodnot chyb, shluky nízkých chybových hodnot nebo tzv. outliery (extrémních hodnot).

Aplikace metod pro prostorové vyjádření nejistoty

Příklad použití různých metod pro prostorové vyjádření nejistoty je demonstrován na modelové oblasti Rusavské hornatiny (4×4 km). Jako vstupní data byly použity vrstevnice s intervalem 5 metrů. Jak již bylo uvedeno, pro vytvoření běžně používané vizualizace přesnosti povrchu je dostačující odečíst odhadované hodnoty výšky DEM od referenčního povrchu nebo referenčních bodů a případně převést získané údaje do množiny absolutních hodnot (obr. 7.10 – a). Pro sofistikovanější odlišení jednotlivých částí území z pohledu vizualizace nejistoty je vhodnější využívat jiné metody, které umožňují sledovat prostorové rozložení chyb. V případové studii se jednalo o místní shlukovou analýzu LISA.



Obr. 7.10: a) běžně používaná přesnost povrchu s vyjádřením chyb pomocí absolutní hodnoty; (b) lokální indikátory prostorové asociace (LISA); HH – shluk vysokých hodnot chyb, LL – shluk nízkých hodnot chyb, HL a LH – prostorové outliery, SN – statisticky nevýznamný prvek

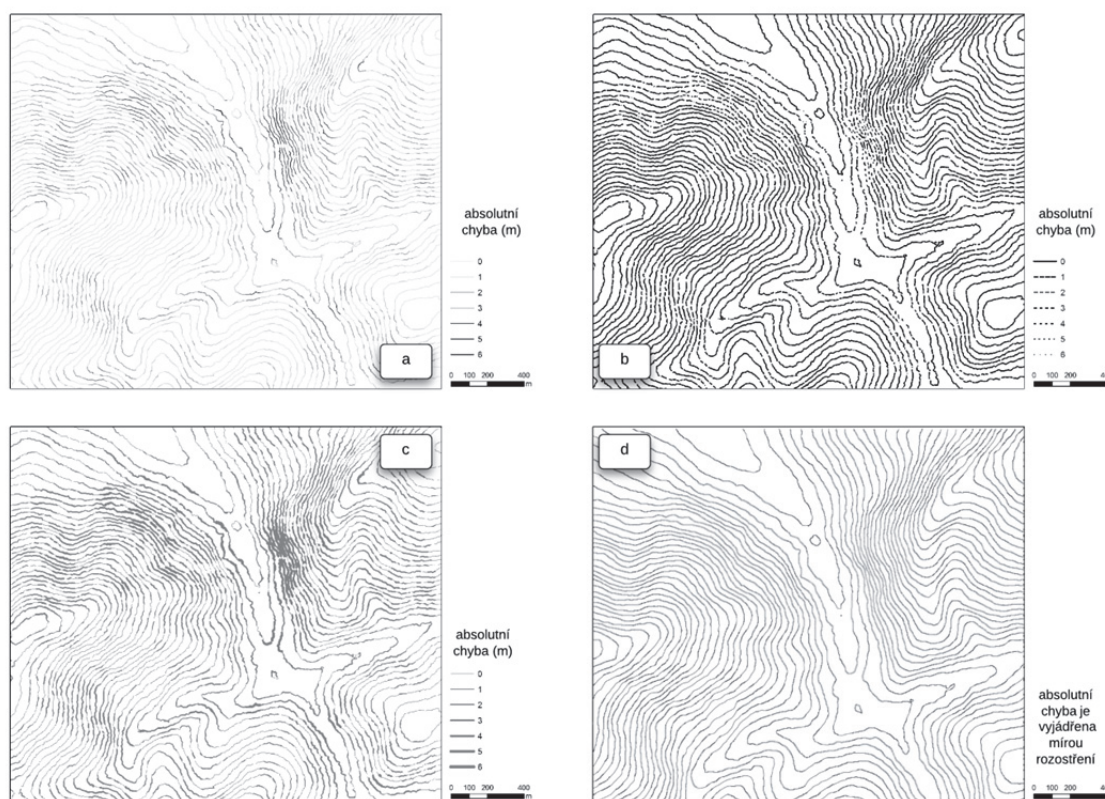
Na rozdíl od pouhého zobrazení velikosti chyb v podobě vyjádření přesnosti povrchu, které však neumožňuje přesné určení hranic mezi oblastmi s vysokou a nízkou hodnotou chyb, umožňuje místní shluková analýza určit hranice klastrů se statisticky významnými vysokými hodnotami. Do těchto klastrů tedy spadají prvky nesoucí vysokou hodnotu chyby a zároveň v jejichž okolí se nachází další prvky s vysokými hodnotami chyb (HH). Obdobně je možno odlišit shluky s nízkými hodnotami chyb (LL) a outliery. Outliery jsou prvky s vysokou hodnotou chyby obklopeny prvky s nízkou hodnotou chyby (HL) nebo prvky s nízkou hodnotou chyby obklopené oblastí s vysokou mírou chyby (LH). K rozřazení prvků do jednotlivých typů klastrů dochází na základě testování nulové hypotézy H_0 (např. na hladině statistické významnosti 95 %), která zní: *Hodnoty chyb jsou v prostoru rozloženy náhodně*. U prvků se statisticky nevýznamnou hodnotou chyby (SN) je hodnota p-value $> 0,05$, proto nelze zamítnout nulovou hypotézu a potvrdit vznik statisticky významného shluku vysokých/nízkých hodnot chyb. Naopak v případě p-value $< 0,05$ je zamítnuta nulová hypotéza a na základě hodnoty indexu LISA (zde index lokální Moranovo I) jsou prvky rozřazeny do jednotlivých typů klastrů (obr. 7.10 – b).

7.2.2 Výběr prostředků a metod vizualizace nejistoty

Pro vyjádření nejistoty v DEM mohou být vhodné některé metody vizualizace s dynamickým obsahem:

- (1) animace různých vizualizací nejistoty s důrazem na její vyjádření [EHLISCHLAEGER A KOL., 1997],
- (2) blikající regiony, kde je obraz dat a nejistoty překrýván přes sebe a zobrazuje se střídavě [KARDOS A KOL., 2006],
- (3) blikající pixely, kde jsou data vizualizována původní barvou, přičemž rychlost blikání odpovídá rozsahu nejistoty [FISHER, 1993].

Vizuální proměnné se využívají k rozlišení nejistoty, kdy se využívá například světlosti nebo šířky linie. Nejistota může být také znázorněna velikostí mezery mezi jednotlivými tečkami na linii, kdy vyšší hodnota nejistoty vede k větším mezerám mezi tečkami a tím k méně zřetelnému průběhu linie. Pro odlišení jednotlivých nejistot může být využito také rozostření, kdy méně přesné části mapy mohou být odlišeny právě efektem Gaussovského rozostření. Parametrem, který určuje nejistotu, je v tomto případě poloměr rozostření [BRUS A SVOBODOVÁ, 2012]. Tradiční přístupy vizualizace povrchů, které započítávají nejistotu, velmi často využívají pouze absolutní hodnoty chyb bez ohledu na to, zda tato nejistota ovlivňuje hodnoty negativně nebo pozitivně. Z tohoto důvodu je vhodné využívat např. jiné barevné stupnice s využitím whiteningu nebo darkeningu pro vizualizaci fuzzy povrchů [ČAHA A KOL., 2012]. Z hlediska uživatelského testování se však stále jedná o nové metody a je potřeba provádět další výzkum. Pro případovou studii byly následně vybrány metody vnitřní s cílem umožnit vizualizaci v běžné mapě. Proto byla vybrána metoda countingu, kdy bylo využito vizuálních proměnných izolinií (obr. 7.11). Výsledné vrstevnice s obsaženou nejistotou je možné dále využít jako standardní prvek map a poměrně jednoduše implementovat do tematických map.



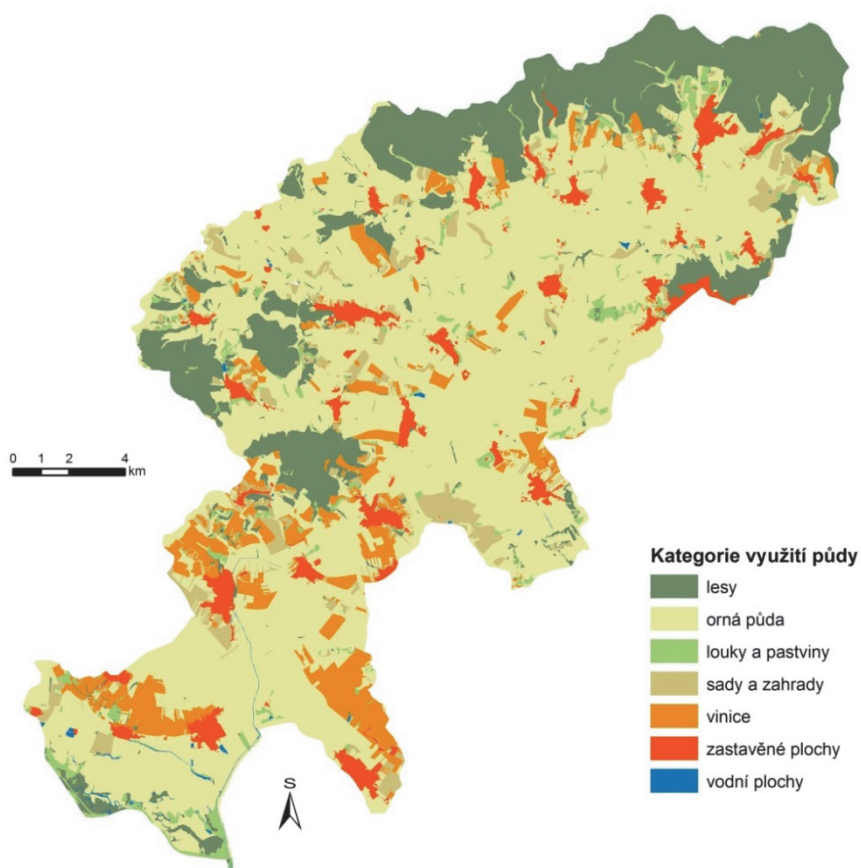
Obr. 7.11 Metoda izolinií použitá pro vizualizaci absolutní chyby, (a) světlost; (b) tečkovaná čára linie; (c) měnící se šířka linie; (d) rozostření

7.3 Vizualizace ekotonů v povodí Trkmanky

Krajina je tvořena třemi prostorovými, funkčně odlišnými skladebnými prvky, obecně nazývanými krajinné složky, a to krajinnou maticí, ploškami a koridory [FORMAN A KOL., 1993]. Mezi jednotlivými ploškami vznikají okraje či rozhraní jednotlivých krajinných

plošek a tvoří tak linie kontaktu. Tyto linie, mohou vytvářet různě široké pásy rozmanitého složení i vlastností [KILIANOVÁ A KOL., 2009] Takto vzniklá přechodová společenstva jsou podmíněna vlivem okrajového efektu, jenž přináší kolísání množství dopadajícího světla, teploty, rychlosti větru a vlhkosti. Tento efekt je také nazýván efektem ekotonovým (edge-effect) [FARINA, 1998]. *Ekoton* je definován jako hraniční neboli přechodná zóna, či okrajové společenstvo mezi dvěma nebo více ekosystémy, v důsledku prolínání oblastí často s větší biodiverzitou a výhodnějšími podmínkami pro organismy než každá z hraničních biocenóz, proto zde bývá větší pestrost druhů rostlin i živočichů. Ekotony mají významnou úlohu při výměně látek mezi sousedními společenstvy. Problematice ekotonů se v posledních letech věnuje stále větší pozornost ze strany odborníků různých přírodovědných profesí. Je to zapříčiněno stále se zvyšujícím tlakem společnosti na využívání krajiny, který způsobuje neustálý vznik nově utvářených rozhraní a okrajů různě využívaných krajinných segmentů. Krajinná struktura se postupně mění [BRUS A KOL., 2013c]. Přibývá ostrých linií a ostře ohraničených ploch, struktura jednotlivých plošek se ale naopak homogenizuje. Z pohledu environmentálních studií jsou výzkumy krajinných segmentů a především ekotonů velmi důležité. Pro správné pochopení a modelaci jednotlivých procesů je nutné využívat konkrétní metody, které s přechodovou povahou krajinných plošek umějí pracovat. V teorii geoinformačních systémů a v procesech matematického modelování jsou regiony jako ostře definovaný objekt vymezený pomocí množiny bodů, nebo pomocí polylinie, která vymezuje dané území [KILIANOVÁ A KOL., 2009]. V reálné situaci však většina regionů zůstává neostrá. Území, kde jedna charakteristika přechází v druhou, není možno modelovat pomocí ostrých hranic. Typickým příkladem této situace je právě studovaný objekt zájmu, konkrétně ekoton na pomezí orné půdy (popř. louky) a lesa.

Jedním ze zásadních předpokladů pro správné pochopení vnitřní struktury modelovaných i výsledných dat je následná správná vizualizace těchto krajinných prvků. Celá tato oblast je však postižena velkou mírou nejistoty a z pohledu tématu této disertační práce otevírá prostor pro aplikaci vizualizačních technik pro zobrazování jednotlivých komponent kvality dat (tab. 7.2). Jako případová studie byly vybrány datové vrstvy vzniklé při řešení projektu *Ekotony v současné krajině*. Konkrétně se jednalo o datovou sadu obsahující kategorie využití v povodí Trkmanky v roce 2001 (obr. 7.12).



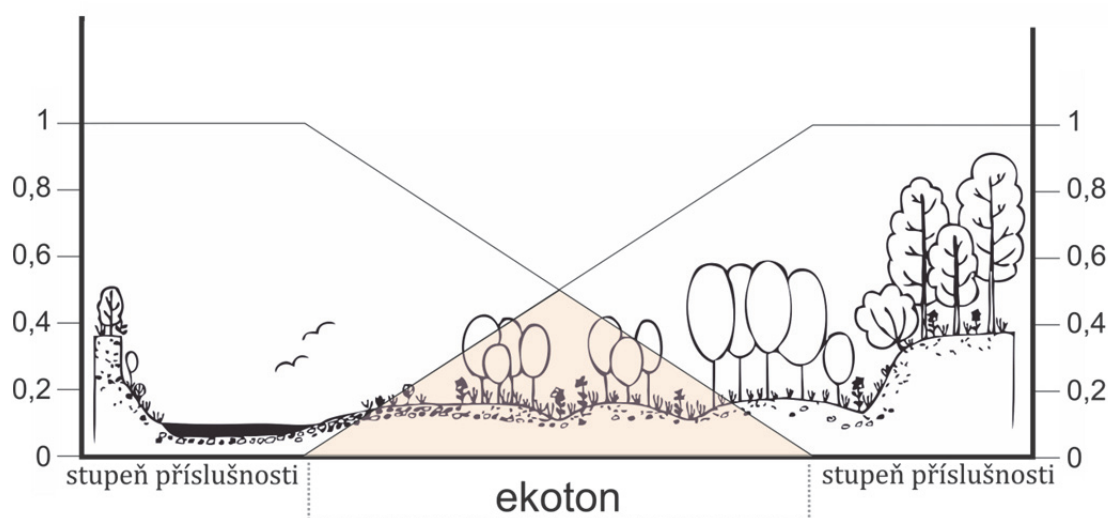
Obr. 7.12 Kategorie využití půdy v povodí Trkmanky v roce 2001

Tab. 7.2: Jednotlivé komponenty kvality dat vztahované ke studii ekotonů v povodí Trkmanky

| Kategorie nejistoty | Definice | Příklad nejistoty v případové studii |
|---------------------|---|---|
| Polohová přesnost | Rozdíl mezi pozorováním a realitou. | Vymezení ekotonu s přesností ± 30 m. |
| Časová přesnost | Časové rozpětí od vzniku přes shromažďování / zpracování použití. | Získaná data jsou aktuální pouze v době pořízení leteckého snímku. |
| Úplnost | Míra, do jaké je informace komplexní. | Datová sada pokrývá pouze povodí Trkmanky, nebere v potaz okolí. |
| Konzistence | Určení, do jaké míry jednotlivé složky souhlasí. | Celková studie ekotonů vychází z dat z různých období a s různou kvalitou. |
| Homogenita | Stejnorodost v rámci datové sady | Dvě rozdílné vrstvy ukazují zásadní rozpor v poloze konkrétní kategorie Land cover. |
| Rodokmen | Způsob, jakým byly informace předány. | Bylo využito podkladových dat s nejistým původem. |
| Rozlišení | Přesnost měření / odhad. | Vizuální fotointerpretace byla prováděna v měřítku 1 : 5 000, letecké snímky měly různé prostorové rozlišení. |
| Subjektivita | Míra, s jakou je do výsledku zahrnut lidský výklad nebo rozhodnutí a jak se uvedené následně promítá do výsledku. | Vektorizace byla prováděna několika osobami. |

7.3.1 Možnosti modelování ekotonů v prostředí GIS

Pro reprezentaci přechodných geografických pásem bylo navrženo více technik [PECHANEC A BRUS, 2012; PECHANEC A KOL., 2011B]. V kontextu disertační práce jsou z tohoto pohledu nejvíce důležité dva přístupy: jako první lze uvést teorii Egg-yolk [COHN A GOTTS, 1996] – tato teorie umožňuje provádět kvalitativní úvahy o nejasných a nejistých oblastech, přechodná oblast je zastoupena pomocí soustředných minimálních a maximálních hranic dané plošky. V tomto lze spatřovat analogii se žlutkem a bílkem uvnitř vejce, analogicky vnitřní část plošky a prostor mezi vnitřním a vnějším okrajem plošky tvoří jeden celek. Následně jakákoli ostrá hranice plošky musí ležet v ploše, která je vymezena již zmíněnou hranicí vnitřní a vnější části. Teorie sama o sobě nemá žádné pevné základy, ze kterých by se dala odvodit míra přijatelnosti ostroty jednotlivých hranic. Druhou teorií, která má v krajinné ekologii uplatnění, je teorie fuzzy množin. Metody založené na fuzzy množinách mohou být použity pro definování regionů s nejistou nebo přechodnou povahou, z tohoto důvodu je lze aplikovat v celé škále environmentálních a především krajinných studií [BRUS A KOL., 2012A; BRUS A KOL., 2013B; PECHANEC A BRUS, 2012; PECHANEC A KOL., 2011A; PECHANEC A KOL., 2011B]. Zatímco tradiční klasifikační schémata rozdělují půdní kryt do jednotlivých tříd, právě odstupňování členství dané kategorie pomocí fuzzy množiny umožňuje do modelování a následné vizualizace zahrnout také nejistotu. Z tohoto pohledu je přiřazení stupně členství ve fuzzy množině subjektivním procesem. Díky tomuto subjektivismu jsou tyto metody velmi flexibilní v tom smyslu, že umožňují zakomponovat nejistotu do dané třídy, ale také nejistotu spojenou s prostorovým rozsahem. Cílem geoinformatického modelování je tedy vymezit území přechodu, překryvu či hranice pomocí aparátu teorie fuzzy množin. Z čistě matematického hlediska je ekoton chápán jako území, kde lze jednotlivé body mnohdy s určitou pravděpodobností nazvat bodem jedné ekologické vrstvy, a současně s určitou pravděpodobností jako body jiné ekologické vrstvy. Tento přístup vede k formulaci ekotonu jako fuzzy množiny (obr. 7.13). Tyto fuzzy množiny jsou vhodné pro modelování vágních objektů spojených s krajinnými studii [SHI, 2010].



Obr. 7.13 Schématický záznam ekotonů pomocí fuzzy regionu a stupně příslušnosti (autor podkladového obrázku J. Lacina)

7.3.2 Vymezení problému vizualizace

Při analýzách ekotonů prostřednictvím geoinformačních technologií je prvotním a nezbytným požadavkem tyto struktury správně vyjádřit a posléze také vizualizovat [BRUS A KOL., 2012A]. Pro přiblížení se k reálnému stavu krajiny je potřeba vyjádřit jednak ostrý přechod, ale mnohem častěji také přechod pozvolný, který je také v krajině mnohem častější. Zde se jako nejvhodnější přístup nabízí využití modelů, které byly uvedeny výše a jejich následná vizualizace [BRUS A KOL., 2013B]. Takový způsob reprezentace struktury krajiny poskytuje mnohem přesnější informaci o zkoumaném fenoménu a zároveň pomocí vizualizace umožňuje se realitě více přiblížit, a tím snižovat nejistotu ostrého vyjádření přechodu. Je třeba si ale také uvědomit nevýhody tohoto pojetí. Je velmi těžké určit správné množství klasifikačních skupin tak, aby vypovídací hodnota byla dostatečná a přitom aby nadbytečně nerostla složitost úlohy. Dalším a zásadním problémem je nalezení vhodného způsobu vizualizace tak, aby výsledná mapa nebyla využitím vizualizační metody nepřehledná a nekomplikovala proces přenosu informace. V zásadě by se mělo jednat o intuitivní metodu vizualizace, aby bylo čtení mapy co možná nejjednodušší.

Přechodová pásma lze vyjádřit ve vektorovém i rastrovém formátu. V případě vektorového pojetí mapy využití krajiny je možno přechod vyjádřit také pomocí hraniční linie nebo hraničního polygonu. Vyjádření pomocí jednotlivých variant lze charakterizovat níže uvedenými body [KILIANOVÁ A KOL., 2009]:

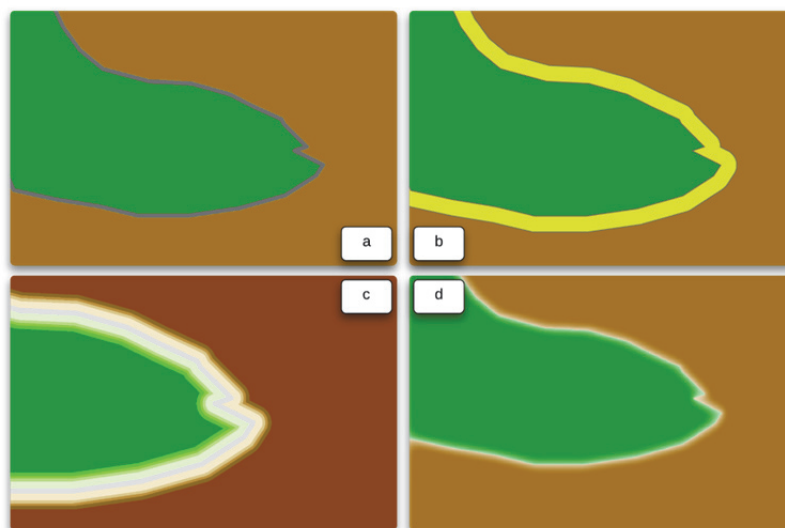
Hraniční linie

- přechod mezi dvěma ploškami je reprezentován obvodovou linií plošky (obr. 7.14 – a)
- nejméně vhodná metoda, čtenáři neposkytuje informaci o typu přechodu a jeho struktuře
- vlastnosti hranice jsou shodné s vlastnostmi plošky a nelze je individuálně měnit
- hraniční linie může mít různou tloušťku
- vytváří příliš ostrý přechod – toho lze využít v případě velmi ostrých gradientů, pro postupné přechody není příliš vhodné

Hraniční polygon

Tato vizualizace reprezentuje pojetí modelu egg-yolk zmíněného výše.

- na styku dvou plošek je přidána nová ploška odpovídajícího tvaru (obr. 7.14 – b)
- čtenář je nucen si strukturu v rámci polygonu interpretovat (velká míra subjektivity)
- je pro ni možno nastavovat individuální vlastnosti (klasifikace společenstva, šířka)
- vytváří v mapě další hranici, která ve skutečnosti v krajině neexistuje
- zmenšuje plochu plošek
- barevným odlišením vznikají příliš ostré přechody, které nejsou reálné



Obr. 7.14 Vyjádření pásma přechodu sousedních společenstev pomocí
(a) hraniční linie; (b) hraničního polygonu; (c) neostré množiny; (d) barevného gradientu

Neostrá (fuzzy) množina

Neostré či fuzzy soubory jsou soubory, respektive třídy, které nemají ostré ohraničení (obr. 7.14 – c), u prostorových dat to znamená, že na uvažovaných místech může být přechod mezi členstvím a nečlenstvím v souboru postupný. Lze je definovat pomocí funkcí příslušnosti. V případě vektorů se jedná o rozdělení hraničního polygonu na několik zón podobných bufferům, kdy mohou být velikosti jednotlivých zón odvozeny na základě členství a nečlenství v daném souboru. Vnitřní strukturu ekotonů je možné definovat expertním odhadem, kdy jsou každému bodu přiděleny hodnoty příslušnosti na základě odborného hodnocení. V případě ekotonů tento expertní odhad určují převážně biologové, konkrétněji botanici nebo zoologové podle předmětu studia. Pro vizuální reprezentaci jsou následně jednotlivé zóny odlišeny pomocí vizuálních proměnných. Rastrové reprezentace přechodových pásem lze vizualizovat následovně:

Ostrá množina

- přechod mezi dvěma ploškami je reprezentován min. 1 řadou homogenních pixelů
- šířku pixelu je možno nastavit
- omezené množství popisných informací
- příliš ostrý přechod

Neostrá (fuzzy) množina

Definování jednotlivých kategorií (struktura ekotonů) je analogická se způsobem odvozování u vektorové reprezentace,

- přechod mezi dvěma ploškami je reprezentován řadou pixelů, které mají různé „procento“/stupeň příslušnosti k 1. či 2. plošce
- definiční intervaly příslušnosti možno definovat
- pozvolný přechod mezi dvěma kategoriemi
- každá úroveň přechodu může vykazovat odlišné vlastnosti

7.3.3 Metody a použitá data

Využití výhod fuzzyfikace v geoinformatice je popsána řadou vědeckých prací. Pro zpracování této případové studie byla využita extenze *POM Demonstrator* [VULLINGS A KOL., 2009] softwaru *Esri ArcMap 9.3*, která umožňuje generovat, vizualizovat a analyzovat fuzzy objekty. Extenze vypočítává jednotlivé vrstvy na základě definování fuzzy funkce a následnému určení stupňů příslušnosti (obr. 7.15). Extenze je primárně určena pro výpočty ochranných zón a dalších objektů v územním plánování. Po osobní konzultaci s autorem extenze byla diskutována také možnost použití v rámci odlišných environmentálních studií, konkrétně v případové studii zaměřené na vizualizaci přechodových pásem. Aplikace se ukázala jako vhodný nástroj pro výpočet členění vnitřní struktury ekotonu. Rovnice a proměnné, se kterými rovnice počítá, jsou:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } x \leq \alpha \\ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{x-\alpha}{\beta-\alpha} \right)^{2\rho} & \text{for } \alpha < x \leq \beta \\ \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma-x}{\gamma-\beta} \right)^{2\rho} & \text{for } \beta \leq x < \gamma \\ 0 & \text{for } x \geq \gamma \end{cases}$$

kde:

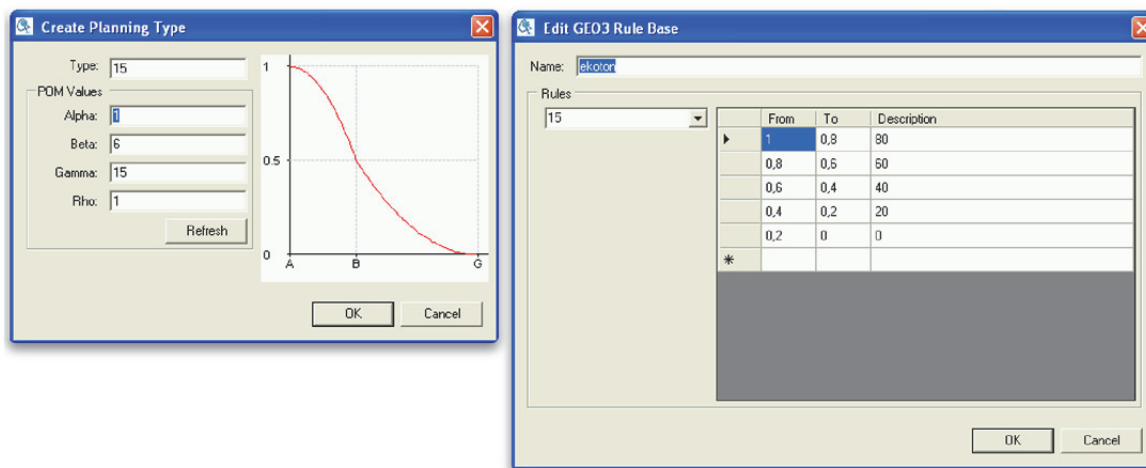
α = vzdálenost, ve které patří objekt do dané třídy (příslušnost je 1)

β = vzdálenost, ve které objekt patří do dané třídy z 50 % (příslušnost je 0,5)

γ = vzdálenost, ve které již objekt nepatří do dané třídy (příslušnost je 0)

ρ určuje tvar funkce příslušnosti (konkávní, konvexní nebo lineární)

[VULLINGS A KOL., 2013]



Obr. 7.15 Nastavení extenze *POM Demonstrator* pro určení přechodových pásem (ekotonů)

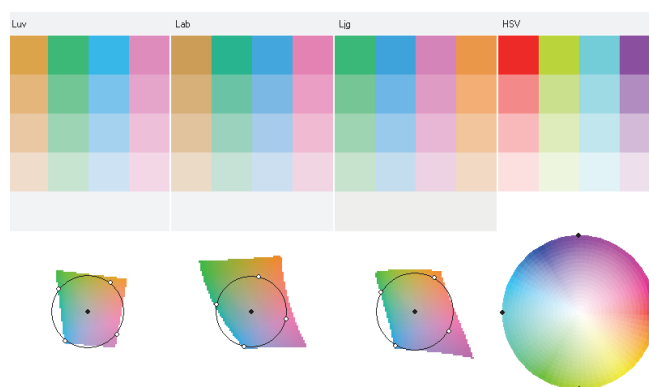
Vzhledem k faktu, že jsou ekotony tvořeny ekologickými vrstvami, které jsou mnohdy definovatelné jako fuzzy množiny, byl zaveden koncept tzv. fuzzy regionů. Pro následnou vizualizaci byla stanovena definovaná jednotlivá vnitřní struktura. Na základě informací z projektu *Ekotony v současné krajině* řešeného na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci byly ekotony mezi kategorií lesy a orná půda, popřípadě louky a pastviny vizualizovány jako přechodové pásmo o celkové délce 30 metrů s vnitřní

strukturou na základě zvolené fuzzy funkce. Průběh ekotonu od hranice polygonu mezi kategoriemi orná půda a les směrem do kategorie les demonstruje fuzzy funkce (obr. 7.15).

Analogicky byl spočítán i průběh ekotonu od hranice mezi studovanými kategoriemi směrem do kategorie orná půda. Tímto způsobem byl vytvořen průběh ekotonu mezi těmito studovanými kategoriemi. Z tohoto pohledu se jedná o značné zjednodušení situace, protože na průběh ekotonu v krajině má zásadní vliv celá řada biotických i abiotických faktorů a není vždy homogenní na styku těchto dvou krajinných prvků. Z tohoto pohledu se tedy primárně jedná o demonstraci možnosti vizualizace tohoto přechodového pásma než o snahu zachytit reálný průběh ekotonu ve studovaném území. Dalšími výpočetními metodami využitými v této studii byl již popsán výpočet prostorové entropie a metoda výpočtu *Density surface* dostupná v rámci extenze *Land Facet Corridor Designer* [JENNESS A KOL., 2011]. Obě tyto metody byly zvoleny kvůli možnosti následné vizualizace odlišné od vizualizace založené na výpočtu fuzzy regionů.

7.3.4 Výběr prostředků a metod vizualizace

Pro vizualizaci těchto přechodových zón bylo využito software *ArcGIS for Desktop 10.1* s využitím dalších programových prostředků, s cílem nalézt vhodnou barevnou stupnici pro vizualizaci přechodu. Jako první byla zvolena aplikace *ColorBrewer 2.0* [HARROWER A BREWER, 2003]. Systémy „MapBrewer“ jsou pojmenovány po výzkumné pracovníci a kartografce Cynthii Brewer a mohou se považovat za nový druh systému na podporu tvorby map. Pomáhají uživateli vždy s jedním konkrétním aspektem při tvorbě mapy. Jedním z těchto systémů je také zmiňovaný *ColorBrewer 2.0* – nástroj pro správný výběr barevné kompozice. Systém lze charakterizovat jako „digitální asistent výuky“ a nabízí důležité teoretické zázemí [BRUS A KOL., 2009]. Pro studii byla vybrána nabízená paleta tohoto nástroje pro zobrazení divergentní stupnice. Bylo nutné zvolit barvy tak, aby asociativnost dané barvy byla spojována s lesy a ornou půdou. Z tohoto pohledu je výběr stupnice značně omezený. Nabízené divergentní barevné stupnice nejsou totiž primárně určeny pro vizualizaci přechodových pásem v rámci krajinných prvků. Další negativním faktorem byla výchozí barva na obou koncích stupnice. Díky nutnosti odlišit v přechodovém pásmu 11 dílčích kategorií bylo nutné vycházet z velmi tmavých barev. Výsledná mapa je z tohoto pohledu značně barevně nevyvážená.

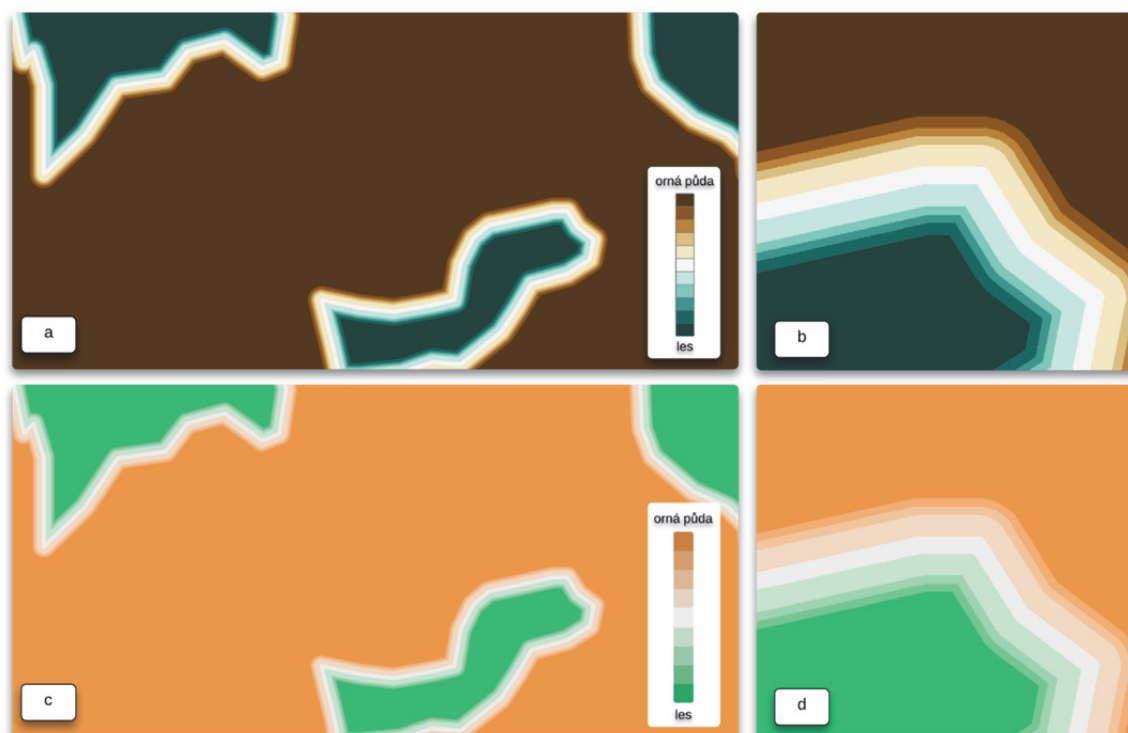


Obr. 7.16 Využití různých barevných modelů Luv, Lab a Ljg pro vizualizaci nejistoty; upraveno podle [BURT A KOL., 2011]

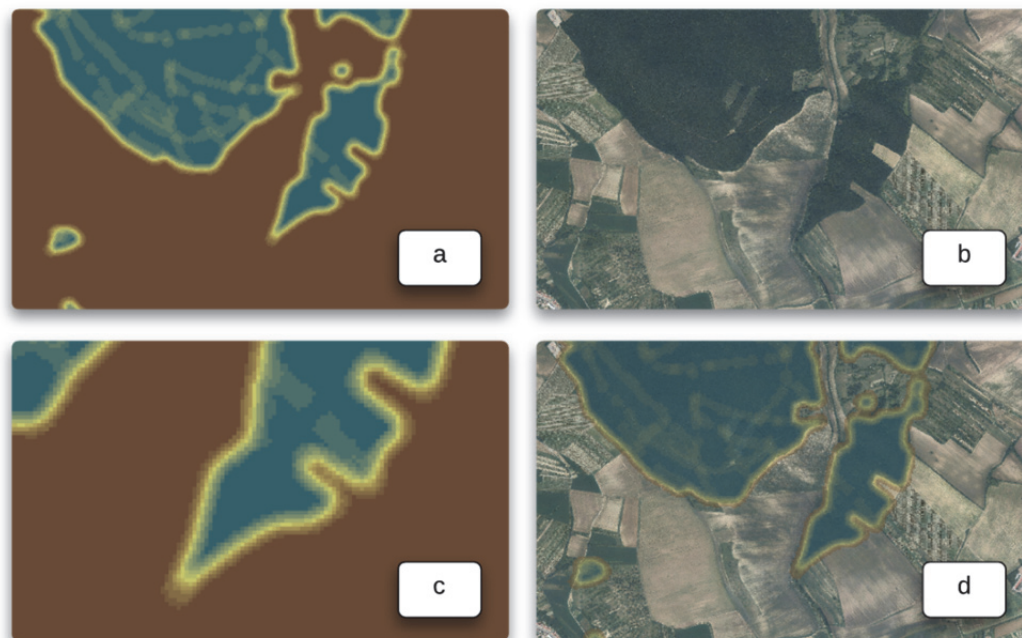
Další metodou, kterou lze využít pro vizualizaci nejistoty v ekotonech, je aplikace jiných barevných modelů. Jak bylo studiem potvrzeno, ve srovnání s klasickými barevnými modely jako HSV nebo HLS, umožňují modely CIELUV (L^* , u^* , v^*), CIELAB (L^* , a^* , b^*) a OSA-UCS (Ljg) lepší odlišitelnost jednotlivých kategorií nejistoty [BURT A KOL., 2011]. Pro případovou studii byly zvoleny stupnice navržené konkrétně za účelem zobrazování nejistoty, které jsou dostupné v nástroji *ColorBars* v rámci softwaru *SoLIMSolutions* [SO LIM, 2011]. Barevné stupnice tohoto nástroje nejsou příliš vhodné pro použití při zobrazování dynamického obsahu mapy v reálném čase, ale pro statické reprezentace prvků pevně spojených s nejistotou mají své opodstatnění. Důvodem je jejich konkrétní navržení s cílem u čtenáře vyvolat správné asociace o reprezentované nejistotě. Pro reprezentaci nejistoty v přechodových pásmech byl zvolen barevný model Ljg. Výsledná vizualizace poskytuje čtenáři informaci o průběhu ekotonu a zároveň vyvolává pocit rozostření, což dále napomáhá asociativnosti dané metody (obr. 7.17 – c).

Pro výpočet průběhu ekotonu mezi lesem a jinými krajinnými prvky byla dále zvolena již zmíněná metoda výpočtu *Density surface*. Tato funkce vypočítává hustotu určité hodnoty buňky ve zvoleném okruhu každé buňky. Výstupní rastr má hodnotu od 0 do 1, kde 0 znamená, že v okolí dané buňky nejsou k dispozici žádné buňky se stejnou hodnotou. Výsledná hodnota 1 poukazuje na buňky, které jsou zcela obklopeny buňkami se shodnou hodnotou. Na základě vypočtených dat lze následně vhodnou vizualizační metodou vytvořit přechody mezi jednotlivými krajinnými prvky (obr. 7.18 – c). Získané výsledky navíc korespondují s reálným průběhem mezi kategorií *lesy* a dalšími kategoriemi. Tato situace byla kontrolována s průběhem daných tříd na ortofotu sledovaného území (obr. 7.18 – d).

Poslední metodou v této případové studii byla aplikace průhlednosti na výsledky získané výpočtem prostorové entropie (obr. 7.18 – a) a *Density surface* (obr. 7.18 – b). Jednotlivá místa s vysokou entropií byla vizualizována s větším stupněm průhlednosti. Analogicky byla jako více průhledná volena místa s menší hodnotou (získaná pomocí metody *Density surface*). Více průhledná místa tedy reprezentují místa, kde je příslušnost ke kategorii *lesy* malá, ale zároveň je zde předpoklad, že se zde kategorie *les* ještě stále může vyskytovat. Tento výsledek plně koresponduje s vymežováním ekotonů v environmentálních studiích. Obě metody uživatele mapy vhodně upozorňují na přítomnost ekotonů v krajině. Při použití pouze na některé krajinné prvky, u kterých je cílem poukázat na obsaženou nejistotu, je navíc metoda značně intuitivní.



Obr. 7.17 Vizualizace ekotonů: (a) divergentní stupnice (ColorBrewer 2.0); (b) detail přechodu pomocí divergentní stupnice (ColorBrewer 2.0); (c) divergentní stupnice (barevný model Ljg); (d) divergentní stupnice (barevný model Ljg)



Obr. 7.18 (a) vizualizace přechodových pásem mezi kategorií lesy a dalšími kategoriemi vypočítaná pomocí funkce Density surface; (b) ortofoto sledovaného území; (c) detail přechodového pásma; (d) vizualizované přechodové pásmo umístěné na ortofotu



Obr. 7.19 Vizualizace přechodových pásem v povodí Trkmanky pomocí průhlednosti vypočtená (a) metodou entropie; (b) metodou density surface extenzí Land Facet Corridor Designer

[JENNESS A KOL., 2011]

7.4 Změny půdního krytu dobývacího prostoru Heřmanice mezi lety 1966–2003

Data půdního krytu a využití půdy *land cover / land use* jsou základním datovým vstupem pro celou řadu aplikací v oblasti životního prostředí. Tato data mohou být zpracována v různém prostorovém či obsahovém detailu s využitím dálkového průzkumu Země. Tematický obsah databáze může být úzce zaměřený na speciální datovou potřebu nebo je obsah dán standardní nomenklaturou pro více obecné použití. Velmi blízký vztah mezi používáním termínů *land cover* (LC) a *land use* (LU) vede často k záměně obou pojmů. V mnohých mapách jsou LC a LU často používány současně, kdy jsou přírodní a polo-přírodní areály popsány kategoriemi LC, zatímco zemědělské a městské části kategoriemi LU. Přesto jsou oba termíny principiálně různé a nelze je zaměňovat. Výjimkou může být situace, kdy prezentovaný materiál (výsledky výzkumu, statistiky apod.) zahrnují údaje z obou disciplín. *Land use* je tedy souhrnem úprav, činností a vstupů, které člověk uskutečňuje v určitém typu *land cover* [JANSEN A GREGORIO, 2002]. Půdní kryt se stává prvotním zdrojem informací o aktuálním charakteru krajiny a její prostorové organizaci, protože představuje fyzický materiál (hmotu) na povrchu Země. Analýza změn půdního krytu v kontextu měnících se společenských a environmentálních podmínek umožňuje hodnotit retrospektivní vývoj krajiny, posouzení vlivů a odhad trendů vývoje a je jedním z východisek při řešení změn únosnosti a ekologické stability území. Půdní kryt vyjadřuje základní kvalitu daného území, v jemnějším rozlišení pak míru přeměny či poškození přírodního prostředí. Případová studie je zaměřená na možnosti vizualizace nejistoty při analýzách vektorových map na příkladu změn půdního krytu v dobývacím prostoru Heřmanice. Sledované území se nachází v Moravskoslezském kraji, v bývalých okresech Ostrava-Město a Karviná, přičemž zasahuje do katastrálních území Ostravy, Bohumína a Rychvaldu. Dobývací prostor je součástí ostravské dílčí pánve a tvoří jej dnes již uzavřený důl Heřmanice s areály Heřmanice a Rychvald.

7.4.1 Vymezení problému

Z pohledu studií půdního krytu jsou zcela zásadní dva hlavní komponenty kvality dat. Jedná se o polohovou a atributovou přesnost. Toto vymezení je v mnoha případech diskutabilní, protože chybné vyjádření dané kategorie LC může být současně způsobeno jednak polohovou, ale také atributovou přesností, proto jsou tyto komponenty kvality dat neoddělitelné. I přes tuto skutečnost je uvedené dělení v literatuře běžně využíváno, protože se jedná o dvě zcela odlišné domény. Polohová přesnost u rastrových dat vyjadřuje míru jistoty polohy dané kategorie zastoupené v daném pixelu vůči příslušným relativním polohám, které jsou pokládány za správné nebo jsou správné. Z tohoto pohledu polohová přesnost závisí především na kvalitě geometrické korekce (ortorektifikace) satelitního nebo leteckého snímku. U vektorových map je polohovou přesností myšlena míra jistoty, se kterou lze považovat polohu hranice mezi dvěma polygony za správnou. Jak bylo uvedeno, tato míra jistoty je neoddělitelná od atributové přesnosti, protože hranice odděluje pouze kategorie, které jsou vymezeny třídami ve zvoleném schématu třídění. Proto je nejistota vymezené hranice přímo úměrná především rozdílností daných tříd, typem přechodu mezi jednotlivými třídami a ostrostí dané hranice. Možnost vizualizace přechodových pásem byla uvedena v případové studii zaměřené na vizualizaci ekotonů. Tematická přesnost u rastrových dat posuzuje spolehlivost přiřazených hodnot prvků v datové množině ve

vztahu k jejich skutečnému významu v „reálném světě“. Tato nejistota je obvykle hodnocena pomocí kontingenčních tabulek shody mezi předpokládanou a naměřenou hodnotou. V případě rastrových dat se často používají klasifikační metody, kdy výsledkem hodnocení klasifikace je chybová matice.

Dalším parametrem kvality dat je v tomto případě rozlišení, které udává množství a hodnoty detailů, které jsou v zájmovém území rozlišovány v prostoru, čase i tématu. Snímky s menším rozlišením obsahují menší míru detailu, a jsou proto méně přesné. Dále lze uvést časovou přesnost, která má zásadní vliv na aktuálnost datové sady a její následné využití. V případě vektorových map LC odvozených fotointerpretací, které jsou výchozí datovou sadou případové studie, lze navíc od polohové přesnosti snímku odlišit také kvalitu interpretace, což zahrnuje několik komponentů kvality dat. Primárně se jedná o atributovou přesnost, kdy může být chyba způsobena chybným zařazením dané kategorie. Značnou část nejistoty může mít na svědomí také subjektivita interpretace, která je u různých jedinců odlišná a vede ke vzniku odlišných výsledků při zpracování identického snímku. Problematická je také homogenita vzniklých vrstev, protože na interpretaci má vliv celá řada faktorů a v rámci datové sady kvalita velmi často kolísá. Z faktorů ovlivňujících tuto situaci lze uvést převážně únavu, stres nebo celkovou náladu osoby, která provádí interpretaci. Kvalita interpretace je tedy v rámci datové sady velmi proměnlivá a v případě vektorových vrstev závisí primárně na lidském faktoru. Vzhledem k tomu, že se kvalita může měnit u jednotlivých vrstev převážně důsledkem interpretace různými osobami, je velmi důležité standardizovat pozorovací techniky (např. fixní měřítko pro interpretaci) a další kritéria (např. využívání jednoho fotointerpretačního klíče) [LILLESAND, 2003]. Ve výsledku tak nejistota a s ní spojená kvalita získaných vrstev ovlivňuje všechny následné analýzy a modelace. Je třeba tuto skutečnost brát na vědomí a mít na zřeteli, že nejistota není závislá pouze na kvalitě podkladových dat, ale také na koncovém uživateli těchto dat. Stejnou datovou sadu lze hodnotit různým stupněm nedůvěry v závislosti na tom, jakým způsobem bude používána. To znamená, že některé chyby mohou mít pro zamýšlené použití zcela zásadní vliv, zatímco jiné chyby budou pro dané využití irelevantní. V této případové studii je proto pozornost zaměřena na prezentaci míry nejistoty spojené s konkrétními částmi datové sady v návaznosti na míru důvěry, kterou může čtenáři poskytnout.

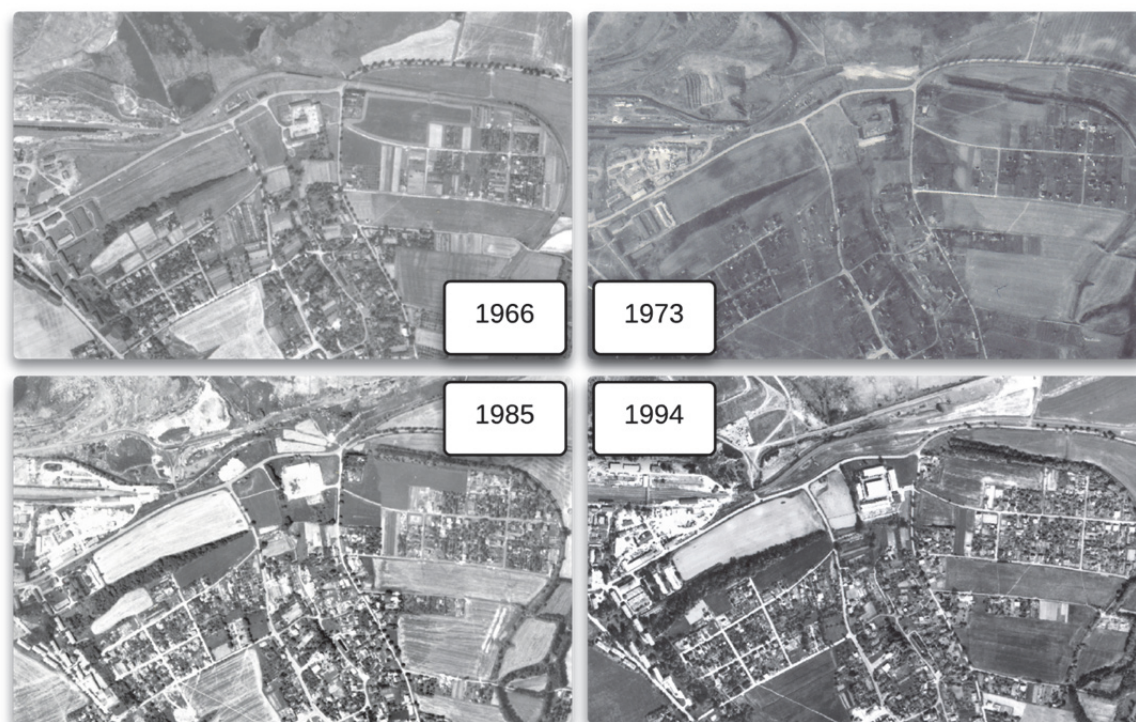
Tab. 7.3: Jednotlivé komponenty kvality dat vztažené ke studii změn kategorií land cover

| Kategorie nejistoty | Definice | Příklad nejistoty v případové studii |
|----------------------------|---|---|
| Polohová přesnost | Rozdíl mezi pozorováním a realitou. | Nepřesné vymezení kategorií s neostrou linií, chyba transformace snímku. |
| Časová přesnost | Časové rozpětí od vzniku přes shromažďování / zpracování použití. | Získaná data jsou aktuální pouze v době pořízení leteckého snímku, chybí data z meziobdobí. |
| Atributová přesnost | Spolehlivost přiřazených hodnot prvků v datové množině ve vztahu k jejich skutečnému významu. | Různá kvalita a jiná spektrální charakteristika objektů - následné špatné zařazení do kategorie. |
| Úplnost | Míra, do jaké je informace komplexní. | Datová sada pokrývá v některých letech pouze část území. Existují místa s chybějící informací o kategorii land cover. |

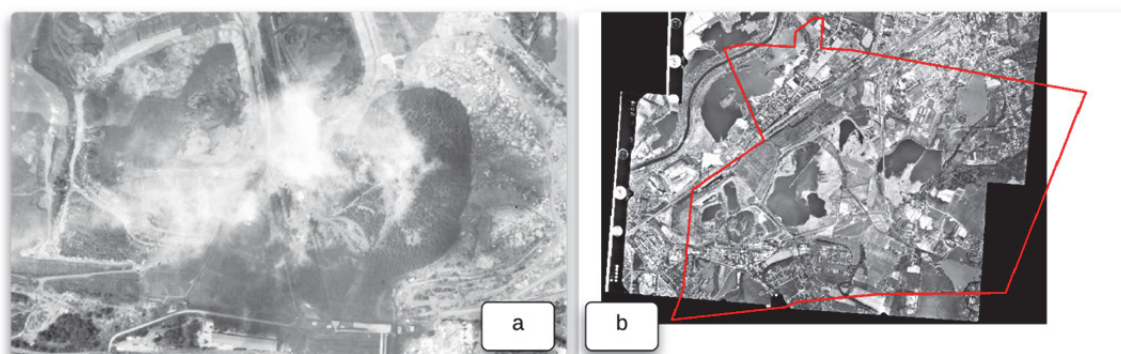
| | | |
|----------------------|---|--|
| Konzistence | Určení, do jaké míry jednotlivé složky souhlasí. | Celková datová sada obsahuje několik vrstev s odlišnou mírou kvality dat. Při výpočtu s využitím všech vrstev dochází k propagaci chyby. |
| Důvěryhodnost | Spolehlivost informačního zdroje. | Práce je zpracována jedním autorem, který mohl používat nesprávné metody a techniky. |
| Homogenita | Stejnorodost v rámci datové sady | Polohová přesnost je v rámci jedné datové sady rozdílná. Mohlo docházet ke změně měřítka při vizuální fotointerpretaci. |
| Rodokmen | Způsob, jakým byly informace předány. | Bylo využito podpůrných podkladových dat s nejistým původem. |
| Rozlišení | Přesnost měření / odhad. | Vizuální fotointerpretace byla prováděna v měřítku 1 : 5 000, letecké snímky mají různé prostorové rozlišení. |
| Subjektivita | Míra, s jakou je do výsledku zahrnut lidský výklad nebo rozhodnutí a jak se uvedené následně promítá do výsledku. | Určení kategorií land cover je zcela subjektivní a záleží na předchozích zkušenostech. |

7.4.2 Popis dat a postup práce

Pro zpracování práce byly použity kontaktní kopie leteckých snímků dobývacího prostoru Heřmanice z let 1966, 1973, 1985 a 1994. Získané letecké snímky dané časové řady musely být nejprve vhodnou formou převedeny do digitální podoby, bylo potřeba je georeferencovat a spojit do jednoho výsledného souboru. Letecké snímky byly skenovány při rozlišení 500 dpi, aby bylo možné odlišit i velmi malé detaily, jako jsou obytné budovy a struktury povrchu. Každá časová řada snímků měla jinou kvalitu obrazu, jak dokládají výřezy bez měřítka (obr. 7.20). Další částí práce byla transformace leteckého snímku do souřadnic, přičemž tato činnost byla prováděna pomocí modulu *Orthoengine softwaru PCI Geomatica 9.1*. Důvodem provádění transformace byl co nejpřesnější převod snímku do mapového zobrazení pro následnou analýzu v GIS. Pro účely práce byla zvolena polynomická transformace 1. stupně. Uvedená metoda vyžadovala použití tzv. vlíčovacích bodů, tj. bodů o známých zeměpisných nebo mapových souřadnicích, které lze jednoznačně identifikovat na snímku a na mapě. Jednalo se o rohy budov, křížení silnic nebo jiné objekty, které bylo možné bezpečně určit. U většiny snímků bylo obtížné hledání vlíčovacích bodů na celé ploše snímku vzhledem ke skutečnosti, že zástavba se často nacházela pouze při okrajích zájmového území dobývacího prostoru. Přesnost transformace vystihuje střední chyba, kterou *Orthoengine* začíná vypočítávat při nalezení minimálně tří vlíčovacích bodů. Jedná se o odchylku mezi polohou bodu ve zdrojové soustavě souřadnic a polohou v soustavě souřadnic vypočítané z polynomických rovnic. Střední chyba (RMSE) se odvíjela od kvality snímků a měřítka snímkování a činila většinou okolo 1,5 metru, což bylo vzhledem k účelům práce dostatečné.



Obr. 7.20 Rozdílná kvalita snímků DP Heřmanice v jednotlivých letech
Snímky poskytl VGHÚŘ Dobruška © MO ČR/ GeoSI AČR



Obr. 7.21 Problematické oblasti: (a) oblačnost; (b) nedokonalé pokrytí území snímkem v roce 1994
Snímky poskytl VGHÚŘ Dobruška © MO ČR/ GeoSI AČR

Na snímcích je možné odlišit i velmi malé detaily, jako jsou obytné budovy a struktury povrchu. V některých místech, převážně u okrajů leteckého snímku a hlavně u snímků starších, však byly patrné chyby. Z tohoto důvodu byla zvolena taková vizualizace, která na chybu upozorňuje. Snímky byly posléze transformovány polynomem 1. řádu pomocí funkce *Geometric correction*. Výsledná mozaika byla vytvořena z geometricky korigovaných snímků, pomocí funkce manuálního a v některých případech i automatického mozaikování. Každá mozaika se skládala ze čtyř navzájem se překrývajících snímků. Při následném překrývání mozaik hranicemi dobývacího prostoru bylo zjištěno, že výsledné mozaiky v letech 1985 a 1994 nepokrývají celé zájmové území. Jedná se o problematické místo a pro následnou vizualizaci této neúplné datové sady může být volena například metoda diagramu spolehlivosti (reliability diagram). Typ kategorie LC na místech nepokrytých snímkem byl převzat ze snímku z předcházejícího roku a kde byly tyto hodnoty LC

upravovány na základě informací z podpůrných dat. Nepokryté území se nacházelo na východní straně sledované lokality, kde nebyly žádné průmyslové ani těžební areály. Nacházely se zde pouze málo změněné typy LC, což se na výsledném hodnocení promítlo jen minimálně [BRUS, 2007].

Z důvodu problematické kvality snímků území a převážně snímků z let 1966 bylo přistoupeno k vizuální fotointerpretaci leteckých snímků. To znamená, že jednotlivým objektům na snímku byly přiřazeny kvalitativní hodnoty na základě jejich interpretačních znaků. Vizuální interpretace leteckých snímků spočívala v odlišení několika základních charakteristik, kterými jsou: odstín, textura, vzor, tvar, kontext a měřítko [SABINS, 1997]. Dále bylo využíváno terénní šetření a logické úsudky. Velká část informací se také dala vyčíst z vazeb mezi jednotlivými prvky. Výsledné kategorie prvků byly určovány do kategorií odvozených od legendy CORINE land cover (CLC) [FERANEC A OŤAHEL, 2001] s upravenými třídami a především s ohledem na měřítko a specifika kategorií dobývacího prostoru. Změny v klasifikaci legendy se týkaly především upřesnění a vytvoření kategorií bezprostředně týkajících se těžby. Dále byly některé kategorie sloučeny, nebo ponechány pouze na druhé hierarchické úrovni. Při prvotním interpretování byl vytvořen fotointerpretační klíč, který dále sloužil pro identifikaci všech objektů na snímku. Kvalita leteckých snímků nedovolovala některá místa na snímku s přesností určit do dané kategorie. Tyto problémy nastaly především kvůli výskytu oblačnosti na některých snímcích (obr. 7.21 – a) a spektrálnímu chování daných povrchů. Především se jednalo o trvalé travní porosty bez povrchů a bez vegetace a přechodná pásma mezi kategoriemi s neostrou hranicí. Z tohoto důvodu byl do atributové tabulky zapisován také parametr subjektivity. Jednalo se o míru, s jakou si je interpretátor plošky jistý jejím zařazením do dané kategorie v porovnání s ostatními ploškami stejné kategorie. Díky tomuto přístupu bylo poté možno prezentovat míru subjektivity vizuální fotointerpretace a s tím spojenou nejistotu. Tím bylo umožněno zásadně odlišit místa s malou jistotou interpretace. Z tohoto pohledu se jedná o zásadní prvek kvality dat, který má vliv na homogenitu celé datové sady.

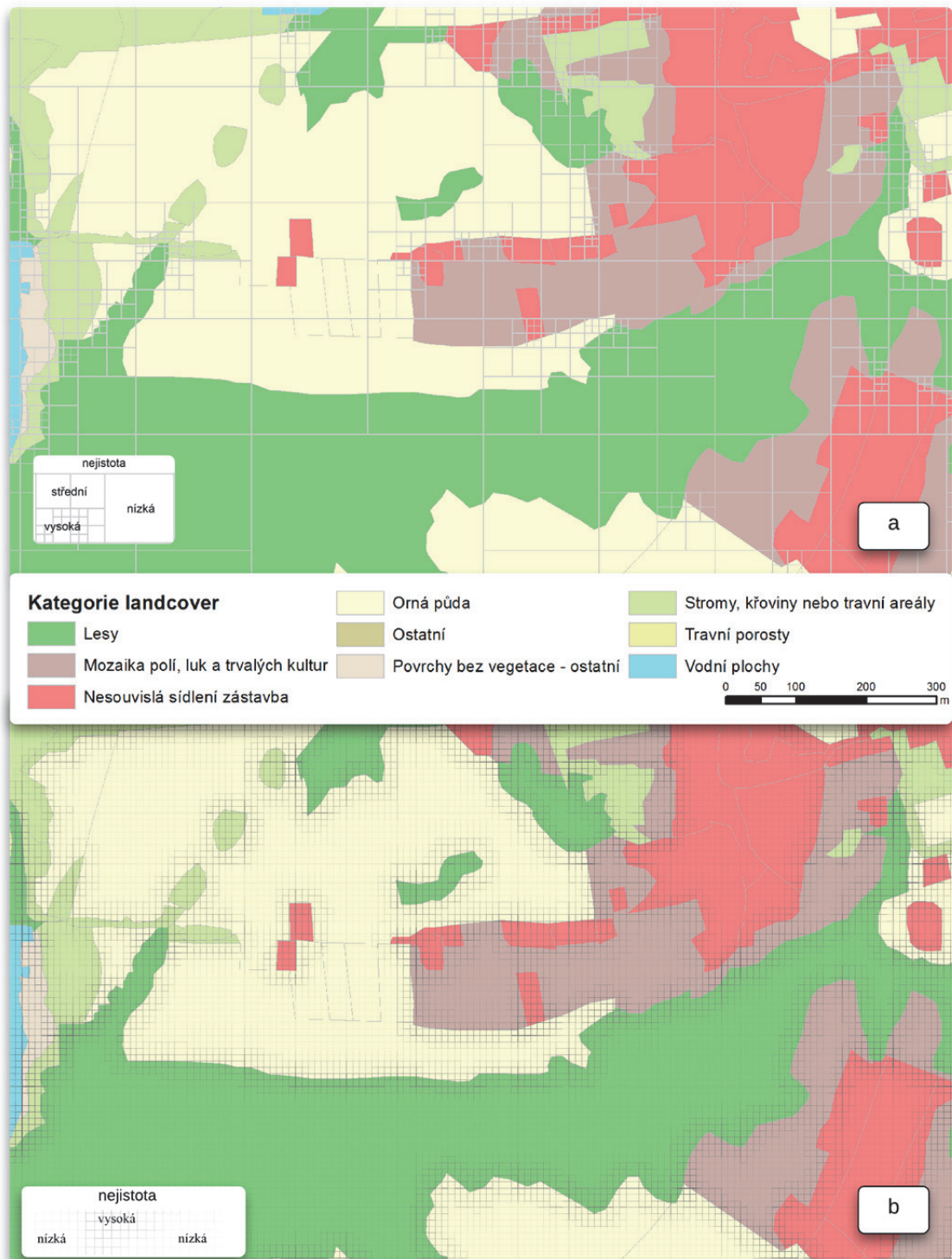
Následně bylo vytvořeno celkem pět *feature classes* v souřadném systému S-JTSK, které byly poté exportovány do geodatabáze. Pro eliminaci chyb způsobených polohovou nepřesností bylo při vektorizaci využíváno také metody tzv. *backward editing*. Tato metoda eliminuje nepřesnosti vznikající odchylkami na leteckých snímcích nebo na mapách. Princip spočívá ve vytvoření prvotní vrstvy na poslední časové řadě, která bývá většinou nejpřesněji transformována do souřadnic. Lze vycházet i z mozaiky nebo mapy s nejmenší odchylkou. U dalších časových řad se postupuje kopírováním vrstvy a úpravou polygonů a hodnot kategorií podle aktuální situace na snímku. Tímto nevznikají nepřesnosti vzniklé posunem jednotlivých objektů nebo typů půdního krytu kvůli různé přesnosti transformace. Tímto způsobem se sice eliminují nepřesnosti, ale stále dochází k nepřesným výsledkům a vzniku chyby. V některých místech nemusí být posun způsoben chybou transformace, ale reálnou změnou polohy dané plošky. Proto je nutné tuto metodu používat po pečlivém zvážení a také pouze v místech, kde je polohová přesnost známa. Následné korekce spočívaly ve sloučení malých a odstranění překrývajících se polygonů, které by mohly při větším zastoupení ovlivnit analýzy. Tyto polygony, většinou v řádu několika čtverečních metrů, byly způsobeny chybnou vektorizací [BRUS, 2007]. Výsledná nejistota byla vypočítaná analogickým způsobem jako při analýzách územních plánů, tedy pomocí prostorové entropie. V této případové studii byl kladen důraz na již zmiňovanou problematiku vymezení hranice mezi dvěma kategoriemi, která se týká polohové i atributové přesnosti. Pomocí vizualizační techniky byla demonstrována míra

důvěryhodnosti dané části mapy z pohledu zařazení do správné kategorie, ale také s ohledem na možnou chybu způsobenou špatným vymezením hranice mezi jednotlivými krajinnými prvky.

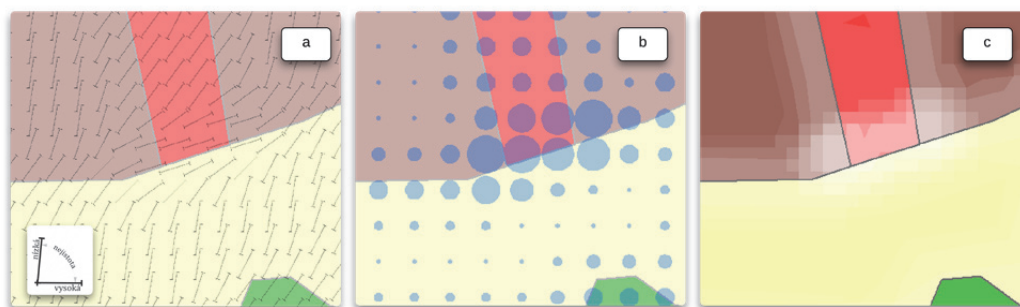
7.4.3 Výběr prostředků a metod vizualizace

Pro názorné a rychlé odlišení míst s vysokou nejistotou bylo pro potřeby práce zvoleno několik metod, které byly následně podrobeny uživatelskému testování. Metody byly převážně vnější, protože pro zobrazování detailních území jsou tyto metody vhodnější. Jako první byla zvolena metoda *quadtree* (obr. 7.22 – a) jako zástupce hierarchických datových struktur, které jsou využitelné také k vizualizaci nejistoty [KARDOS A KOL., 2003]. Jedná se o velmi efektivní způsob k zobrazování nejistoty, kdy princip je poměrně jednoduše pochopitelný. Pokud je u jedné buňky rozdíl mezi hodnotami menší než stanovený limit, buňka se rozdělí. Tento proces se opakuje, dokud se nevizualizuje celá oblast. Výsledná mapa je stále přehledná a je čitelný také atributový význam. V konečné vizualizaci oblasti s malými čtverci zobrazují místa s nejvyšší nejistotou. Metoda byla vytvářena v programovém prostředí *SAGA 2.0* (System for Automated Geoscientific Analyses) a následně upravována v *Esri ArcMap 10.1*. Z pohledu vnímání je však nutné tuto techniku podrobit zkoumání, protože u některých čtenářů může vyvolat opačný pocit, kdy je malým čtvercům přisuzována menší nejistota.

Další metodou byla zvolena *metoda mřížky*, kdy byly jednotlivé části mapy vizualizovány mřížkou s různou průhledností. Průhlednost linií v mřížce určuje obsaženou nejistotu (obr. 7.22 – b). Čím je mřížka průhlednější, tím jsou data více jistá. Postup se dá také invertovat, v tomto případě průhlednější místa ukazují více nejisté oblasti. I u této metody platí, že ji je třeba dále testovat a vždy používat s obezřetností, právě z důvodu možné asociativnosti dané metody, kdy průhlednost velmi často poukazuje na data nejistá. V případě, že by jistá data byla zobrazována zcela neprůhlednou mřížkou, čtení mapy by se velmi komplikovalo, právě z důvodu narůstající komplexity dané vizualizace. Proto je nutné zvážit, co je primární informací, zda kategorie LC nebo obsažená nejistota. Metoda mřížky byla dále aplikována s upravenými vizuálními parametry spočívajícími v rozdílné šířce linií s aplikovanou stejnou průhledností v rámci celého mapového pole, kdy obsaženou nejistotu určuje pouze šířka linie. Tato metoda se ve výsledku jeví jako poměrně dobře pochopitelná. Problém spočívá v šířce linie zakrývající části mapy a také mění se parametry barvy dané kategorie pod mřížkou. V této případové studii byla využita také přidaná geometrie v podobě glyfů (obr. 7.23 – a). Metoda spočívá v umístění znaků, které svou orientací znázorňují rostoucí nejistotu. V případové studii byla zvolena metoda, kdy byly využity úsečky rotující ve směru hodinových ručiček. Mírně zkosená výchozí hodnota ukazující nulovou nejistotu byla zvolena záměrně. Pokud by úsečky při nulové nejistotě byly zobrazeny kolmo k ose x , vznikly by překrytím úseček zcela odlišné znaky a čtení legendy by se zkomplikovalo. Vzhledem ke tvaru úseček bylo možné nejistotu kvantifikovat pouze rotací doprava, maximálně o 90° . Větší rotace by opět způsobila v některých částech mapového pole překrytí znaků. Uvedená metoda ve formě šipky rotující kolem osy by se dala využít také pro vyjádření chyby způsobené transformací snímků.



Obr. 7.22 Vizualizace kategorií land cover v DP Heřmanice v roce 1994 s obsaženou nejistotou: (a) metoda quadtree; (b) metoda průhledné mřížky (menší průhlednost zobrazuje nejistá data)



Obr. 7.23 (a) metoda glyfů; (b) metoda průhledných geometrických znaků; (c) metoda průhlednosti

Vhodnou metodou byla také metoda, která pomocí velikosti bodových geometrických znaků v podobě poloprůhledných kruhů zobrazovala nejistotu (obr. 7.23 – b). Tón barvy byl vybírán záměrně s cílem použít barvu, která v mapovém poli nebyla vůbec obsažena. Nevýhody metody spočívají především ve změně parametrů barvy podkladové vrstvy způsobené překryvem, a také optickou změnou jednotlivých hranic polygonů. V předešlých případech se jednalo o metody vnější, využívající především přidanou geometrii. Pro možnosti srovnání byly dále zvoleny metody vnitřní. První zvolenou metodou vizualizace byla metoda průhlednosti. Jedná se o analogické využití jako při již popsané vizualizaci ekotonů. Více světlá místa poukazují na místa nejistá, odstín barvy tedy určuje míru nejistoty. Problém této metody spočívá v tom, že v určitých místech dochází ke vzniku identických barev pro jev s nejistotou a jev jistý, ale atributově odlišný, který je však reprezentován totožným odstínem barvy. Metoda vyžaduje po čtenáři určitou míru představitivosti a aproximace. Je navíc vhodná jen pro omezený počet kategorií a kategoričnou stupnici. V případě již zavedených legend, jako v případě barev CORINE Land Cover, není příliš vhodná.

Posledními metodami využitými při studiu nejistoty v datové sadě půdního krytu byly autorem práce navržené kombinace metod pro zobrazování 3D reliéfu. Jednalo se o využití vizuálních proměnných k zobrazování povrchu na základě efektu stínování (hillshade effect). Rozdíl oproti metodě použité u studia nejistoty při vizualizaci stabilních ploch je, že pro zobrazení nejistoty byl vytvořen interpolovaný 3D model nejistoty a ten byl následně vložen pod poloprůhlednou vrstvu jednotlivých kategorií LC (obr. 7.24 – a). V rámci vizualizace lze poté jednoduše odlišovat místa ležící opticky nad povrchem oproti plochám bez obsažené nejistoty, které tvoří souvislou rovinnou plochu. Pro možnosti srovnání byla metoda také invertována. V tomto případě místa s vyšší nejistotou leží opticky pod rovinným terénem a místa bez nejistoty jsou opět reprezentována jako rovinná plocha. Výhody obou těchto metod je možnost pomocí interpolace dosáhnout plynulého průběhu míry nejistoty. Legenda je poté potřebná pouze pro vysvětlení, zda se jedná o pozitivní nebo negativní 3D efekt. K nevýhodám této metody zcela jistě patří skutečnost, že řada uživatelů si při čtení této mapy nedokáže odmyslet, že tato metoda není použita pro vizualizaci digitálního modelu reliéfu a že je potřeba spojit si třetí dimenzi s nejistotou. Přesto pro vizualizaci nejistoty v mapách LC/LU může být tato metoda vhodná, protože standardní vizualizace kategorií LC je zobrazována v rovině bez současného využití metod pro vizualizaci DEM. Metoda také předpokládá, že nejistota bude primárně v okolí hranic jednotlivých plošek, tím bude zajištěn pro čtenáře odlišný tvar imaginárního reliéfu, který si nebude spojovat s průběhem reálného terénu. Poslední komplikací této metody je změna barvy při aplikaci průhlednosti vrstvy a kombinaci s barvou vrstvy hillshade. Z tohoto

pohledu musí legenda obsahovat aktuální barvu, která vznikla překryvem těchto dvou vrstev.



Obr. 7.24 Vizualizace kategorií land cover v DP Heřmanice 1994 s obsaženou nejistotou; (a) metoda pozitivního efektu hillshade; (b) metoda negativního efektu hillshade

7.5 Vizualizace nejistoty meteorologických dat na příkladu interpolace průměrných teplot vzduchu v České republice

Častou úlohou související s vizualizací jevů v environmentálních studiích jsou modelace spojených veličin. Příklady lze nalézt ve studiích mapování půdních vlastností, studiích ovzduší, hydrologickém modelování, geologickém modelování a dalších. V těchto případech je velmi důležité použít vhodné postupy s cílem zachytit chování zkoumaných proměnných co možná nejpřesněji [BRUS A KOL., 2013D]. Vyrůstající dostupnost rastrových a vícerozměrných prostorových datových souborů v oblasti environmentálních studií vyžaduje nové přístupy a rozvoj lepších strategií, jak pracovat s tímto specifickým druhem informací, protože mapy přírodních jevů jsou z tohoto pohledu často zobrazovány pouze jako (a) odstíny šedé nebo barevné stupnice pro kontinuální proměnné (např. mapa pH půdy, výskyt dřevin, hustota biomasy) nebo jako (b) sady různých barev pro kategorické proměnné (např. mapa půdních typů, typy lesních porostů, třídy půdního krytu, geologických jednotek a další) většinou bez jakékoli informace o použité metodě nebo obsažené nejistotě. Hlavním důvodem je fakt, že vizualizace nejistoty v environmentálních studiích nebyla příliš řešena, proto mohou být rozhodovací procesy nad těmito mapovými výstupy poměrně omezené. Samotnou vizualizací totiž vzniká chybný předpoklad, že v případě, kdy nejistota na mapách není znázorněna, je mapa ve skutečnosti stoprocentně pravdivá a nejistota se v ní nevyskytuje, což však nemůže být pravda. Důvodem je vždy pouze omezený počet měřících bodů, ze kterých se dané údaje interpolují. V prostorové analýze se tedy odvozuje hodnota jevu ve všech místech plochy z hodnot měření ve vybraných místech. Každé místo má pak hodnotu danou buď měřením, nebo odhadem. Vizualizace nejistoty tak může být přínosná pro realizaci dalších studií a správně zvolené metody vizualizace nejistoty mohou současně napomoci chápání kvality dat v oblasti těchto studií. Pro demonstraci možnosti vizualizace nejistoty při interpolaci spojených veličin byla pro tuto případovou studii vybrána klimatologická data získána z databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Hlavním důvodem byla převážně skutečnost, že klimatologická data ve formě mapových výstupů velmi často vstupují do celé řady rozhodovacích procesů.

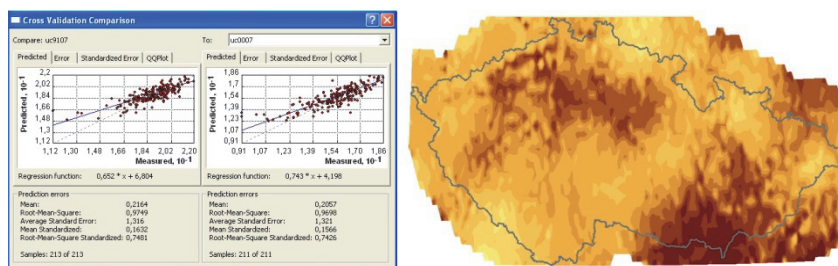
Český hydrometeorologický ústav provozuje 209 klimatických stanic (stav v lednu 2008), z toho 38 profesionálních synoptických meteorologických stanic. Tyto stanice měří a průběžně sledují všechny běžné meteorologické jevy (teplota a vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, sluneční svit, srážky a další). Některé stanice pozorují i další charakteristiky, například tlak vzduchu, odpařování, hloubku zámruzu půdy, apod. Pro případovou studii byla jako vizualizovaná veličina vybrána teplota vzduchu, kterou měří dlouhodobě více než 250 různých měřících stanic. V rámci výzkumu na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci bylo hodnoceno období let 1991–2000. Kompletní datový soubor obsahuje denní průměrnou teplotu ve sledovaném období (více než 28 tisíc záznamů). Pro účely této studie a vizualizaci nejistoty byly použity pouze průměrné měsíční teploty v červenci (typicky letní měsíc) roku 2000.

7.5.1 Interpolační metody

Volba vhodného způsobu interpolace a předpověď a vyjádření chyby predikce je rozhodující pro další vizualizaci dat a pro vnímání výstupů uživateli. Existuje několik metod, které jsou pro interpolaci běžně používány. Některé metody jsou pro klimatologické charakteristiky vhodnější než jiné (např. IDW je méně vhodné než kriging). Všeobecný

přehled možných interpolačních metod pro klimatické charakteristiky uvádí Vicente-Serrano [VICENTE-SERRANO A KOL., 2003], Willmott [WILLMOTT, 1982], Yang [YANG A KOL., 2004] a Kurtzman s Kadmonem [KURTZMAN A KADMON, 1999]. Podle Vicente-Serrana [VICENTE-SERRANO A KOL., 2003] platí pro použití geostatistických metod předpoklad, že prostorová variabilita spojitého klimatického jevu je příliš nepravidelná na to, aby mohla být modelována matematickými modely, a proto je vhodnější používat pravděpodobnostní povrch. Tyto metody se zabývají regionalizovanou proměnnou. Principy těchto metod jsou dobře popsány například v publikaci Burrougha a McDonella [BURROUGH A KOL., 1998]. Skupina interpolačních metod vhodných pro vizualizaci nejistoty je tvořena geostatistickými metodami, jež jsou založeny na statistickém modelu, který v sobě obsahuje společně s (prostorovou) autokorelací jevu rovněž apriorní předpoklad nejistoty mezi měřenými místy. Tyto techniky vedou nejen k vytvoření prostorové predikce, ale umožňují rovněž určit přesnost této předpovědi. Geostatistické metody jsou tedy vhodné pro vytváření klimatických map především proto, že klimatické jevy jsou často prostorově korelovány. Hlavní skupiny metod, které jsou vhodné k použití pro interpolaci teplotních dat, je kriging, cokriging a LLR (lokální lineární regrese).

Kriging je postup prostorové predikce, založený na umístění údajů ve sledovaných lokalitách, optimalizovaný s ohledem na konkrétní kritéria. Kritériem je v tomto případě chyba predikce na neměřeném místě. Chyba je vyjádřena jako směrodatná odchylka, přičemž tato odchylka je minimální ve srovnání s rozptylem chyb u dalších statistických interpolačních metod. Při hodnocení predikčních map je možné využít řadu validačních charakteristik [STEIN A KOL., 1999]. Většinu z nich představují statistické charakteristiky, tj. koeficient determinace, střední chyba RMSE, mean bias error (MBE) nebo střední absolutní odchylka (MAE) [WILLMOTT, 1982]. Čím menších hodnot nabývají parametry MSE, MAE a RMSE, tím je interpolátor považován za přesnější [ERXLEBEN A KOL., 2002]. Tyto validační nástroje jsou zahrnuty v programovém prostředí *ArcGIS for Desktop*. Zahrnují vyhodnocení chyb v předpovědích i křížovou validaci a srovnávání s dalšími vrstvami. Důvodem je vytvoření predikce standardní chybové mapy, která je následně používána k vizualizaci nejistoty. Mapa znázorňující chybu způsobenou geostatistickými metodami přináší přesnější výsledky, které pomáhají k lepšimu pochopení přirozené podstaty datového souboru. Typickým výsledkem geostatistické interpolace je předpovědní mapa, která v sobě zahrnuje také předpovědní chybu (tzv. error map). V případě běžného krigingu mapa ukazuje typický zrnitý vzor – nejistota se zvyšuje tím více, čím dále je sledovaná lokalita od místa interpolovaných bodů [HENGL A KOL., 2004]. V popisované případové studii zabývající se teplotou byly výpočty na základě údajů ze všech meteorologických stanic prováděny v extenzi *Geostatistical Analyst ArcMap 10.1*. Předpovědní schopnost jednotlivých interpolačních metod byla ohodnocena pomocí křížové validace (obr. 7.25) a vizuálního srovnání predikovaných map především s ohledem na následné možnosti vizualizace nejistoty. Následně byla jako nejvhodnější metoda pro vizualizaci nejistoty zvolena metoda cokriging, přičemž tento přístup byl vybrán díky své flexibilitě a povaze datového souboru. Cokriging rozšiřuje metodu krigingu použitím variogramu nebo kovariačního modelu pro více proměnných. Jako nezávislá proměnná byla v případové studii využita nadmořská výška. Metoda cokriging byla aplikována také z důvodu jejího častého využití pro interpolaci teploty. Studie byla primárně zaměřena na možnosti vizualizace vzniklé chybové mapy, proto i velikost vzniklého gridu odpovídá těmto požadavkům.



Obr. 7.25 Křížová validace (vlevo) a grid teplot v ČR (vpravo)

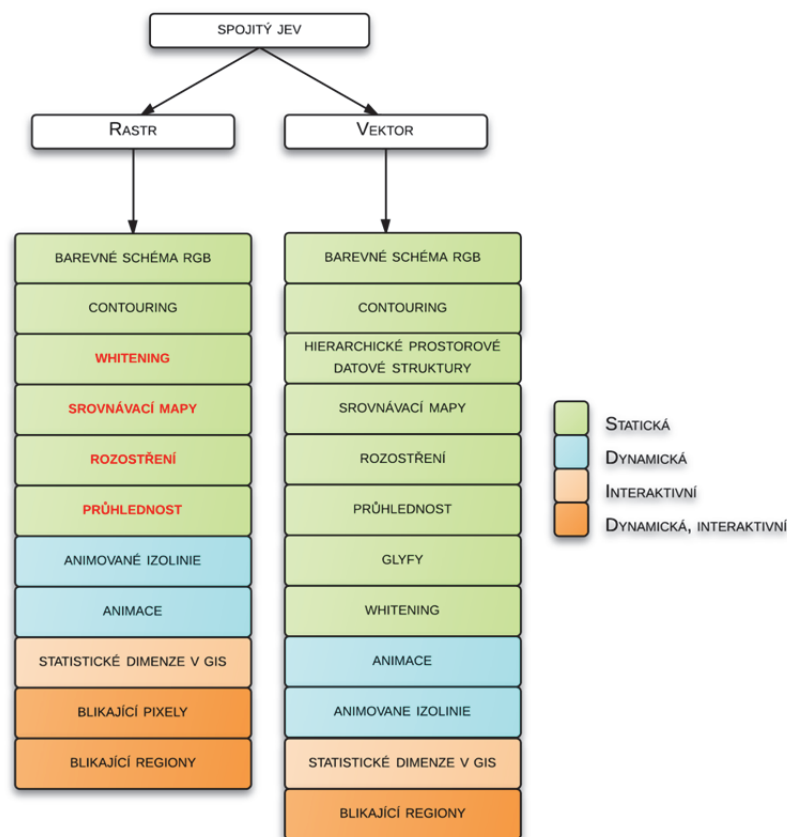
7.5.2 Vizualizace nejistoty klimatických dat

Dokud jsou data pouze v tabulární podobě, je jejich interpretace velmi obtížná. Relevantní žádanou informaci proto poskytne až zpracování formou prostorových nebo časových dotazů, tematických výběrů, filtrací [MAY A KOL., 2003] nebo interpolačních metod. Jak bylo zmíněno, kontinuální proměnné metrologických dat jsou navíc velmi často vizualizovány bez nejistoty interpolační metody, která byla použita [BRUS A KOL., 2013D]. Kartografická vizualizace nejistoty je velmi problematická, jak bylo popsáno v teoretické části práce, a řada aspektů musí být posuzována přímo v průběhu procesu tvorby vizualizací. Často už samotná vizualizace bez obsažené nejistoty, například při použití maxima intervalů k charakterizování jevu, snižuje čitelnost mnoha meteorologických map. Rozhodovací schéma pro výběr vhodné vizualizační metody bylo proto vytvořeno na základě podrobného studia literatury vizualizace klimatických map a studií použitelnosti (obr. 7.26). V této případové studii je aplikováno dělení vizualizačních metod prezentovaných v publikaci Senaratne a kol. [SENARATNE A KOL., 2012]. Dělení počítá s různými přístupy, které mohou být voleny s ohledem na povahu výstupů – ty mohou být statické, dynamické, interaktivní, ve vzájemné kombinaci apod. S ohledem na formu práce byla statickým metodám přikládána větší pozornost.

Nejsložitější otázkou při výběru vhodných metod je zohlednění potřeb uživatele, protože právě správnost percepce uživatele je determinující pro správné pochopení a interpretaci prezentované informace. Důležitou součástí mapy je proto legenda, která obsahuje vysvětlení tematických symbolů použitých v mapě. Z pohledu vizualizace nejistoty by se však legenda měla týkat především hlavní nosné informace, kterou je grid teplot, a informace o míře nejistoty by měla být intuitivní. Některé metody nejistoty využívající například rozmazání jsou navíc v legendě jen velmi obtížně vyjádřitelné. Na základě již provedeného testování uživatelské percepce u některých metod je velmi problematické kvantifikovat jednotlivé rozdíly při vizualizaci na mapě v porovnání s vysvětlením v legendě (např. míra rozostření). Navíc často rozmazané nebo jinak dominující části mapy přitahují pozornost uživatele na úkor oblastí, které jsou v centru žádané pozornosti [MORTON A KOL., 2012]. Z tohoto důvodu je lepší využít jiné vizualizační metody, jako je mozaika nebo různé struktury, vyjádřené kartografickou symbolikou s využitím vizuálních proměnných, které by čtenáře jednoznačně upozornily na odlišné vlastnosti jednotlivých částí mapy a umožnily odlišit míru nejistoty. Jednou z metod, která umožňuje zvýraznění umístěním do popředí obrazu, je metoda stínování (obr. 7.28 – e, f).

Jiné metody využívají vizuálních proměnných konstrukčních prvků mapy, které jsou těžké, syté a ostré, proto vystupují do popředí jako důležitější než ty ostatní, a zároveň méně jisté části potlačují do pozadí (mlha, rozostření). Vizualizace nejistoty dat tak umožňuje

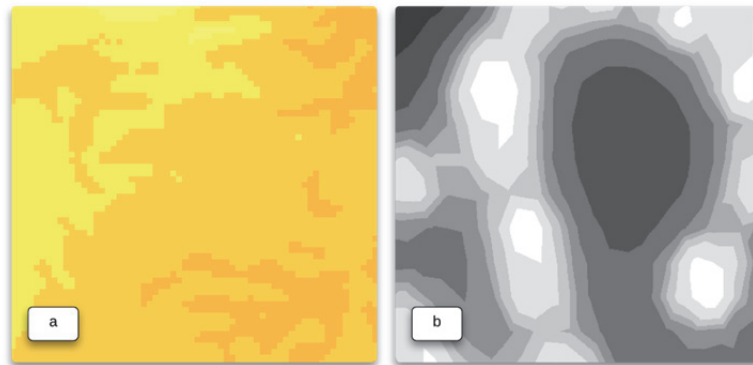
uživatelům zkoumat a interpretovat kvantitativní informace snadno a rychle. Metody založené na pravidlech grafického designu tak navíc mohou výrazně zlepšit schopnosti kartografických metod a zároveň umožnit čtenáři se v mapovém poli s ohledem na kvalitu dat zorientovat mnohem rychleji.



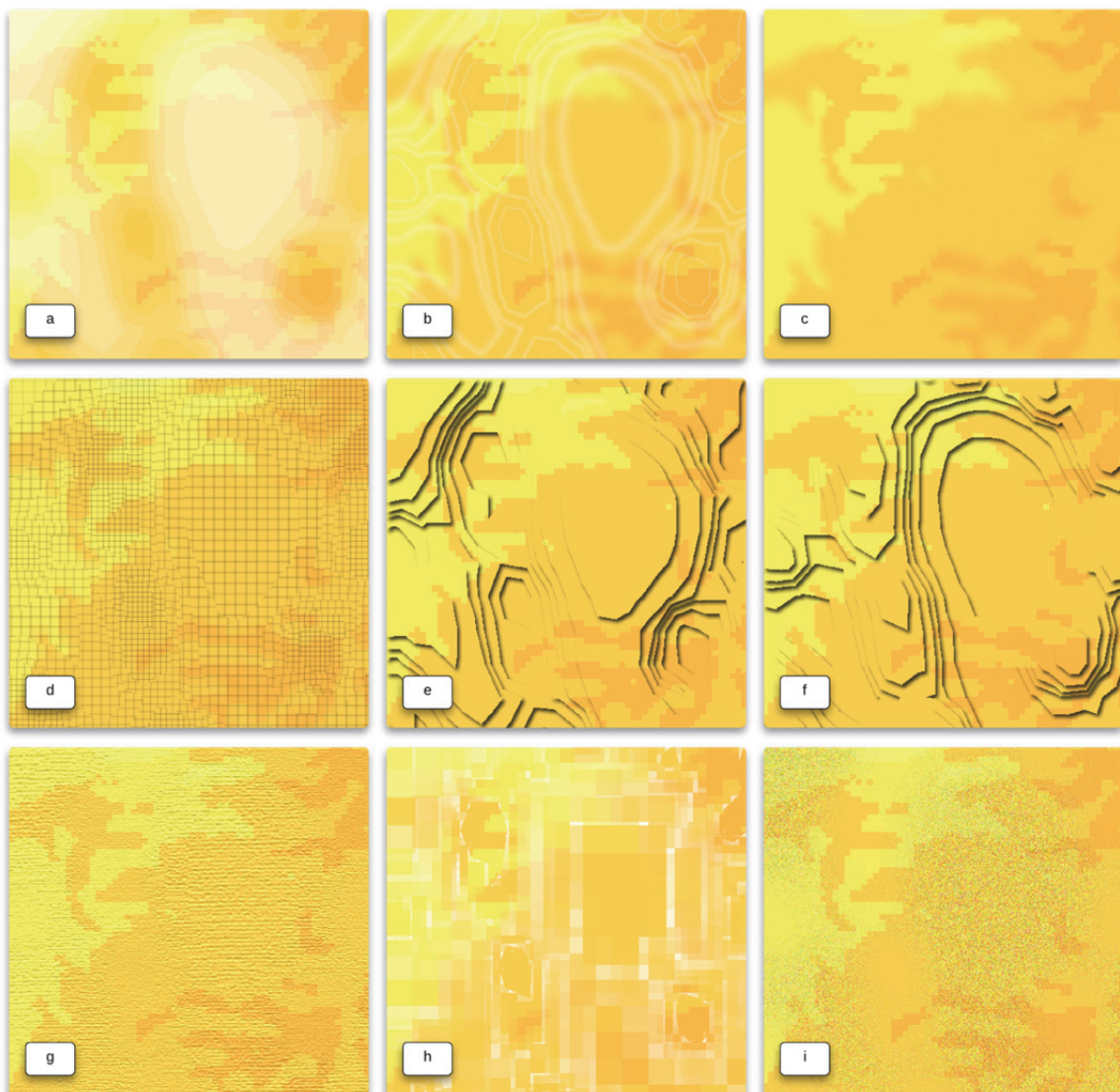
Obr. 7.26 Vybrané metody vizualizace vhodné pro znázorňování klimatických dat; upraveno podle [SENARATNE A KOL., 2012]

7.5.3 Výsledky

Na základě získaných výsledků z interpolace metodou cokrigingu byly připraveny vizualizační techniky založené na uvedeném rozhodovacím schématu (obr. 7.26) a byly aplikovány i metody další. Pro vizualizaci byly využity především nástroje dostupné v *Adobe Photoshop CS6*. Pro demonstraci jednotlivých technik byly v práci využity pouze mapové výřezy, aby bylo umožněno vzájemné srovnání jednotlivých vizualizačních metod. Za výchozí metodou vizualizace lze považovat srovnávací mapy (obr. 7.27), dále se jednalo především o aplikaci průhlednosti, rozostření a jednotlivých filtrů. Smyslem všech vizualizací bylo opticky odlišit místa s rozdílnou nejistotou na základě získaných výsledků. U všech metod byl kladen důraz na intuitivnost vzniklých vizualizací tak, aby nebylo potřeba využívat legendu (obr. 7.28). Přesto u některých vizualizací, především stínovaného efektu, je nutné alespoň popiskem v legendě uvést, jakým způsobem je nejistota reprezentována. Vhodnost vzniklých vizualizací je přímo závislá také na formátu výsledné mapy, její velikosti popř. míry interaktivity pomocí přibližování apod. Je tedy nutné počítat s omezeným využitím jednotlivých metod.

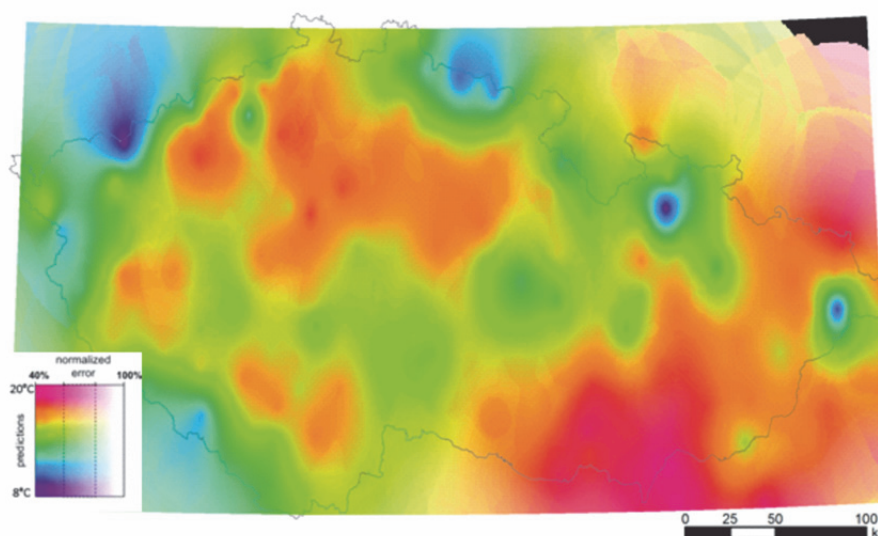


Obr. 7.27 Vizualizace nejistoty interpolační metod – srovnávací mapy: (a) původní grid teplot; (b) chybová mapa predikce (tmavší místa ukazují větší míru nejistoty)



Obr. 7.28 Vizualizace nejistoty interpolační metod: (a) mlha; (b) rozostření s okraji; (c) Gaussovo rozostření; (d) mřížka; (e) inverzní stínovaný efekt (nejistá data jsou opticky vyšší); (f) stínovaný efekt (nejistá data jsou opticky nižší); (g) textura; (h) mozaika; (i) šum

Ve druhé části případové studie byly použity výpočty s barvami implementované v ILWIS (Integrated Land and Water Information System), využívajících barevného modelu HSI (hue, saturation, intensity – odstín, sytost, intenzita), přičemž byl aplikován skript vytvořený Henglem [HENGL A KOL., 2004] (obr. 7.29). Výpočet byl založen na výukovém programu přístupném na webových stránkách spatial-analyst.net [HENGL, 2011]. Metoda je založena na využití barevného modelu HSI s použitím konceptu barevného mísení. Barevný prostor modelu HSI je vhodný pro použití především proto, že pracuje s barvami na podobném principu, jak je vnímána barva lidským zrakem. Model HSI je současně psychologicky atraktivní barevný model – odstín se používá pro vizualizaci hodnot nebo taxonomie a sytost slouží k vizualizaci nejistoty. V případě spojitých proměnných byla dvojrozměrná legenda navržena tak, aby vhodně doplňovala vizualizovaný jev – svislá osa (odstíny) se používá k vizualizaci předpověďované hodnoty a vodorovná osa (sytost) je poté využívána k vizualizaci chyby predikce [HENGL A KOL., 2004]. Jednou z výhod použití tohoto přístupu v případové studii byla skutečnost, že legenda použitá pro „whitening“ (zesvětlování v místech s nejistotou) je vnímána podobně jako rozložení teplot – chladnější oblasti České republiky jsou zobrazeny modře, problematické může být čtení ve střední části, která je zobrazena zeleně, ale červená barva opět odpovídá běžně používané barvě prezentovaného teplotního spektra. Toto dělení poté usnadňuje pochopení metody. Problém může nastat u osob s jakoukoli poruchou barvocitu, kdy se mapa zobrazená pomocí whiteningu stane pro čtenáře nečitelnou.



Obr. 7.29 HSI vizualizace nejistoty pro znázornění teploty v červenci 2000
(normalizovaná chyba 40–80 %)

Ve zpracování klimatických dat představovala kartografická vizualizace poslední krok. V případové studii byl popsán proces vizualizace nejistoty klimatických dat s důrazem na prezentaci více možných přístupů. Je velmi důležité, aby výsledná mapa, byť je vizualizace nejistoty obtížným procesem, dodržovala všechny zásady mapové tvorby a výsledné výstupy splňovaly požadavky kladené obecně na kartografická díla. Vizualizace klimatických dat jsou v současné době velmi rozšířené, také s ohledem na popularizaci

informací o klimatické změně a dalších souvisejících jevech. Z tohoto pohledu je důležité prezentovat techniky vizualizace nejistoty odborníkům i široké veřejnosti tak, aby bylo možné jim poskytovat mapy zahrnující i nejistotu. Uživatelé by si tak měli být vědomi skutečné relevantnosti prezentovaných informací, a to především s ohledem na rozhodovací procesy. Pro rozšíření jednotlivých metod je nutné podrobit jednotlivé metody uživatelskému testování, protože primárně je vždy důležitý účel mapy. Klimatologická mapa s obsaženou nejistotou tak ve finále může čtení této mapy odborníkům i laické veřejnosti zásadně zkomplikovat.

8 UŽIVATELSKÉ TESTOVÁNÍ VIZUALIZACÍ NEJISTOTY

V rámci několika kapitol práce byl zmiňován konečný uživatel mapy jako zcela zásadní a klíčový prvek navržených vizualizací. Vizualizace nejistoty z tohoto pohledu přináší celou řadu výzev, jak se vypořádat s tímto specifickým typem informací. Z pohledu navržených metod existuje celá řada způsobů vizualizace, ale jen některé lze považovat za vhodně navržené, protože existuje jen málo studií, které by následně řešily jejich použitelnost. Ta je přitom zcela zásadní v procesu komunikace mezi mapou a jejím čtenářem. Půžitelnost představuje také jeden z klíčových faktorů pro rozhodování uživatele nad předkládanou reprezentací, protože determinuje „do jaké míry může být produkt používán specifickými uživateli, aby dosáhli specifických cílů účinnou, efektivní a uspokojivou cestou ve specifickém kontextu použití“. Podle standardu ISO 9241 [ISO, 1998] je termín „půžitelnost“ (angl. usability) definován jako „efektivita, účinnost a spokojenost s prostředím, pomocí něhož uživatelé dosáhnou stanovených cílů“. ISO definice půžitelnosti je založena na interakci člověka a počítače (Human-Computer Interaction, HCI) a ergonomickém designu pracoviště [DYKES A KOL., 2005].

8.1 Studie testování půžitelnosti vizualizací nejistoty

Z pohledu možnosti navrhování nových vizualizačních metod a aplikací již navrhnutých metod pro konkrétní účely lze z pohledu efektivnosti těchto vizualizací konstatovat, že existuje poměrně malý počet prací, které by se přímo zabývaly testováním konkrétních metod v případových studiích. Stejně tak chybí komplexní a ucelený přehled účinnosti těchto metod [DRECKI, 2000; NEDOVIC-BUDIC, 1999]. Lze však vycházet z vědeckých studií, které popisují významnost pochopení nejistoty uživateli, a stejně tak upozorňují na to, že faktor uživatele v případě těchto vizualizací nelze pominout. Výzkumy v rámci půžitelnosti vizualizace nejistoty jsou v pozornosti odborníků již více než 20 let. Relevantní a komplexní studie byly prováděny autory Leitnerem, Buttenfeldem [LEITNER A BUTTENFIELD, 2000] a Watkinsem [WATKINS, 2000]. Tito autoři popisují experimenty pro hodnocení vizualizačních technik pro zobrazování nejistoty a zdůrazňují potřebu dalšího empirického výzkumu k testování vizuálních proměnných a jejich významu pro vyjadřování kvality geodat. Evans [EVANS, 1997] ve své studii potvrdil, že všichni účastníci testu byli schopni vizualizovanou nejistotu pochopit a interpretovat. Také Pappenberger a Beven [PAPPENBERGER A KOL., 2006] odmítají argument, že lidé tvořící rozhodnutí nejsou schopni pochopit vizualizovanou nejistotu, ale spíše se přiklání k názoru, že se jedná o problém v komunikaci, než v samotném nepochopení věci [SAYERS A KOL., 2006]. Kolektiv odborníků vedený Sanyalem [SANYAL A KOL., 2009] zjistil, že vnímání nejistoty není jednotné a na základě testování lze odvodit, že vnímání oblastí s nízkou mírou nejistoty se liší od vnímání míst s vysokou mírou nejistoty. Lze také dojít k závěru, že u některých metod je legenda důležitým prvkem pro pochopení zobrazované nejistoty [BRUS A KOL., 2012B]. Mezi odborníky také panuje nesouhlas v názoru na vliv efektu učení a získaných znalostí. Výsledky studie Kobuse a kolektivu [KOBUS A KOL., 2001] a Hope a Hunter [HOPE A HUNTER, 2007] předpokládají, že znalost uživatele má zásadní vliv na jeho rozhodnutí. Tyto studie stojí v rozporu s dříve provedenými studiemi Aertse a kolektivu [AERTS A KOL.,

2003] a již zmíněného Evanse [EVANS, 1997]. Je také potvrzeno, že v porovnání s jinými způsoby komunikace dávají mapy mnohem větší náhled na prostorové uspořádání. V souladu s pojetím Panga [PANG A KOL., 1997] se vizualizace nejistoty snaží o prezentaci dat společně s vnější informací o nejistotě dat. S ohledem na testování konkrétních vizualizačních technik lze vysledovat také dlouhodobé snahy tyto vizualizační techniky podrobit uživatelskému testování.

Polohová nejistota byla testována Kubíčkem a Šašinkou [KUBÍČEK A ŠAŠINKA, 2011]. Sanyal a kolektiv [SANYAL A KOL., 2009] při testování vizualizačních metod pro 2D a 3D data zjistili, že vnímání nejistoty u těchto dvou skupin není jednotné. Animace byly hodnoceny Fisherem [FISHER, 1993], sousední mapy byly testovány MacEachrenem [MAC EACHREN A KOL., 1998], metoda překrytí texturou metoda byla hodnocena Kardosem [KARDOS A KOL., 2003]. Výsledky studie Kobuse [KOBUS A KOL., 2001] naznačují, že znalost uživatelů má podstatný vliv na jejich rozhodnutí. Více informací o uživatelském testování lze nalézt v publikaci Senaratne a kol. [SENARATNE A KOL., 2012]. Zajímavé výsledky přinesla také studie zaměřená na sémiologii jednotlivých symbolů realizována MacEachrenem [MAC EACHREN A KOL., 2012]. I přes snahu jednotlivé techniky pro vizualizaci nejistoty testovat stále existuje značný nepoměr mezi teorií vizualizace nejistoty, kognitivním testováním a poznatky o vlivu jednotlivých metod na uživatele [KUBÍČEK, 2011]. Tato situace byla také jedním z důvodů uživatelského testování v práci navržených vizualizací.

8.2 Testování intuitivnosti navržených vizualizací

V disertační práci byl pro potřeby testování a tvorby experimentů využíván systém eye-tracking, který lze využít pro hodnocení map [POPELKA A KOL., 2012]. Tato technologie je podle Gienka a Levina [GIENKO A LEVIN, 2005] založena na principu sledování pohybu lidských očí při vnímání vizuálního vjemu. Zařízení, které je schopné tyto pohyby sledovat a měřit, je známé jako eye-tracker. Tuto metodu je podle Goldberga a Kotvala [GOLDBERG A KOTVAL, 1999] možné považovat za objektivní, protože není ovlivněna názorem sledované osoby. Objektivnost eye-tracking metod někteří autoři znevažují a dodávají, že pro objektivní výsledky je třeba provádět současně i další druhy testování [VAN ELZAKKER, 2013], přesto metoda eye-tracking může podpořit tradiční metody testování vizualizace nejistoty.

V případě, že se uživatel snaží pochopit vizualizovanou nejistotu, obvykle nastávají tyto dva typy procesů: percepční, ve kterém uživatel vizualizovanou skutečnost zahlédne, a kognitivní, ve kterém si uvědomí tento nálezný a pochopí funkci nalezeného prvku. Analýza pohybu očí následně poskytuje kvalitativní i kvantitativní informace o obou těchto fázích vizuálního vyhledávání, čímž vhodně doplňuje další SEE (satisfaction, efficiency, effectiveness) metriky. Pohyb oka je z části řízen ze středního mozku, a protože neprochází přes mozkovou kůru, není plně řízen vědomím člověka. Rozlišováno je několik typů očních pohybů, z hlediska zpracování informací jsou důležité fixace, sakády a smooth pursuit [SCHÜTZ A KOL., 2011]. Fixace jsou definovány jako zastávky zraku s typickou délkou 200–300 ms a delší [HOLMQUIST, 2011]. Sakády jsou oční pohyby, které přenášejí jednotlivé fixační body mezi různými místy a během kterých uživatel nezískává z pozorované scény

žádné informace. Odlišení fixací a sakád je závislé na použitých programových prostředcích, konkrétních algoritmech a také na frekvenci, se kterou zařízení měří oční pohyby.

Pro ověření předpokladů a doplnění navrženého konceptu vizualizace nejistoty byla analýzou očních pohybů řešena problematika intuitivnosti vytvořených vizualizací s cílem nalézt pro daný typ případové studie nejvhodnější metodu. Práce byla prováděna na základě rešerše více publikací s důrazem na publikace MacEachrena [MAC EACHREN A KOL., 2012]. V rámci testování se jednalo o vyjádření nejistoty spojené s vektorovým zobrazením kategorií krajinného krytu v případové studii *Změny půdního krytu dobývacího prostoru Heřmanice mezi lety 1966–2003*. V těchto případech se jednalo o kombinaci polohové a atributové nejistoty při vymezení hranic. Důvody kombinace těchto dvou komponentů kvality dat do jedné vizualizace byly detailně popsány u problematiky vizuální interpretace krajinného krytu.

8.2.1 Experiment

Výzkum pomocí technologie eye-tracking probíhal na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci na zařízení SMI RED 250, které snímá pozice obou očí při vzorkovací frekvenci 120 Hz. Použité rozlišení obrazovky je 1680 × 1050 bodů. Test probíhal v laboratoři za konstantních podmínek pro všechny testované respondenty, identické byly především světelné a zvukové podmínky. Celkem bylo testováno 14 odborníků. Všichni respondenti měli za sebou kartografické vzdělání a velmi často pracovali s mapami, především pak v digitální podobě. Výběr respondentů byl záměrný – důvodem byla především uživatelská specifická vzniklých mapových výstupů v případové studii. Pro experiment byly zvoleny zmíněné vzniklé vizualizace kombinované nejistoty v podobě polohové a atributové přesnosti. Pro testování bylo vybráno celkem osm vizualizačních technik. Jednotlivé metody uvádí tabulka 8.1, jednalo se o metody vnitřní i vnější. S ohledem na množství faktorů, které mohly ovlivnit získané výsledky, bylo nutné zvolit odpovídající design experimentu, protože do testování vstupuje celá řada faktorů jako vzdělání, efekt učení, intuitivnost úlohy a mnohé další. Každý stimulus obsahoval vždy stejný mapový výřez, důvodem bylo zachování naprosto stejného obsahu mapy a eliminace možného ovlivnění testování touto proměnnou. Z důvodu zamezení možnosti ovlivnění respondenta stále stejným mapovým výřezem byly jednotlivé mapové výřezy navíc otáčeny o 180°, převráceny svisle nebo vodorovně. Cílem těchto transformací obrazu byla snaha vytvořit u respondenta odlišnou představu o reprezentovaném území. Pokud by mapový výřez zůstal stále stejný, nebylo by možné zabránit pravděpodobnému efektu učení a u posledních stimulů by mohlo docházet k opakovanému pohledu do stále stejných míst mapy. Pro experiment bylo využito také základů *thinking aloud* metody. Během testování byl pořizován audio-vizuální záznam a respondenti byli požádáni, aby slovně vyjádřili své myšlenky, pocity a názory ohledně navržených vizualizací. Pomocí myšlení nahlas bývají obvykle zjištěny údaje o probíhajících procesech, spíše než metakognitivní strategie jako plánování a evaluace [COHEN, 1999].

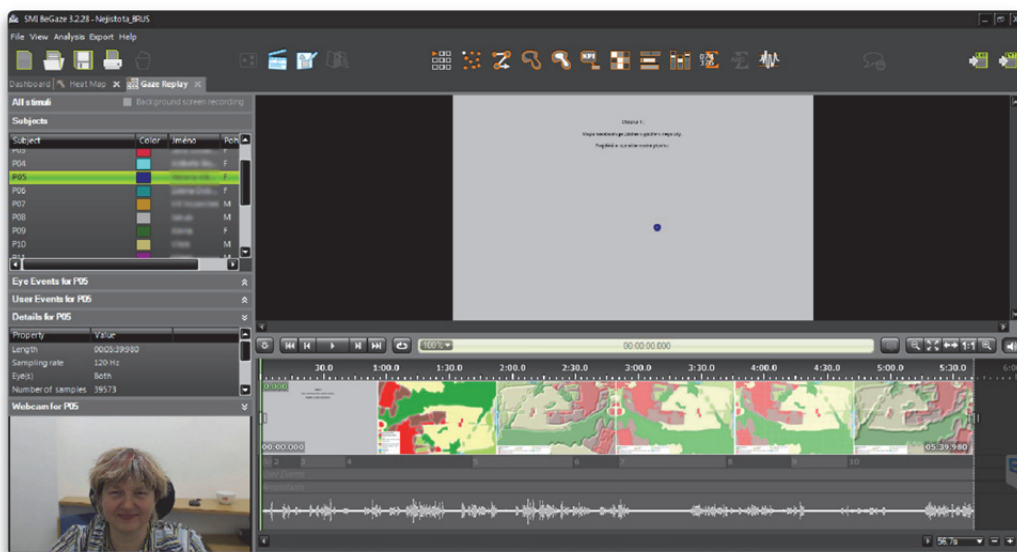
Tab. 8.1 Přehled testovaných metod

| Metoda | Hledaná reprezentace nejistoty | Hledaný typ kategorie | Typ metody |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------|
| Hillshade pozitivní | nejvyšší | orná půda | vnitřní |
| Hillshade negativní | nejvyšší | lesy | vnitřní |
| Glyfy | nejvyšší | nesouvislá sídelní zástavba | vnější |
| Průhledné kruhy | nejnižší | lesy | vnější |
| Mřížka průhlednost | nejvyšší | nesouvislá sídelní zástavba | vnější |
| Mřížka šířka linie | nejvyšší | orná půda | vnější |
| Průhlednost | nejvyšší | stromy, křoviny nebo travní areály | vnitřní |
| Quadtree | nejvyšší | lesy | vnější |

Smyslem testování bylo nalézt vhodnou metodu pro konkrétní typ úlohy, kterou bylo ve všech případech hledání části mapy s nejvyšší nebo nejnižší nejistotou dané kategorie krajinného krytu. Jednotlivé otázky byly měněny, aby bylo opět zamezeno efektu učení a hledání reprezentace na konkrétním místě. U dvou metod byla položena stejná otázka, proto lze následně tyto metody vzájemně srovnávat mezi sebou. U žádné otázky nebyla pro metodu vizualizace nejistoty zobrazena legenda. Cílem celé studie bylo ověřit intuitivnost navržených metod z pohledu jejich schopnosti reprezentovat nejistotu bez nutnosti používat legendu. Pokud by metoda byla následně aplikována, legendu by bylo nutné použít. Úloha byla aplikována na reálná data s barevnou symbolikou běžně používanou pro reprezentaci krajinného krytu. Barvy vycházely z barev používaných pro data CORINE Land Cover.

Výsledky

Získaná surová data byla analyzována v softwaru *SMI BeGaze 3.2.28* (obr. 8.1) a po exportu a následném importu také v softwaru *OGAMA* (OpenGazeAndMouseAnalyzer).



Obr. 8.1: Ukázka analýzy výsledků v software SMI BeeGaze 3.2.28

Správnost odpovědí byla analyzována pomocí retrospektivního přehrávání úkolů a prostřednictvím nahraného videozáznamu. Tato metoda byla více objektivní než pouhé sledování zaznamenaných kliků pomocí ukazatele. Důvodem byla možnost určit, zda byla úloha respondentem skutečně pochopena, čímž bylo možné odlišit náhodné kliknutí do mapy bez prokazatelného pochopení významu metody. Tento proces vyhodnocení byl umožněn především díky slovnímu popisu jednotlivých metod respondenty v průběhu testování a analýzou jejich chování při řešení dané úlohy.

Výsledky správnosti odpovědí v testu ukazuje graf 9.1. Ze získaných výsledků je patrné, že jako nejlépe správně chápaná byla metoda *průhledné mřížky*. Z celkového počtu 14 respondentů jich při použití této metody správně odpovědělo 12. Mezi metody s vyšším počtem správných odpovědí lze zařadit také metodu *průhledných kruhů* a metodu *průhlednosti*. Z pohledu správnosti odpovědí byla nejméně vhodná metoda *glyphů*.

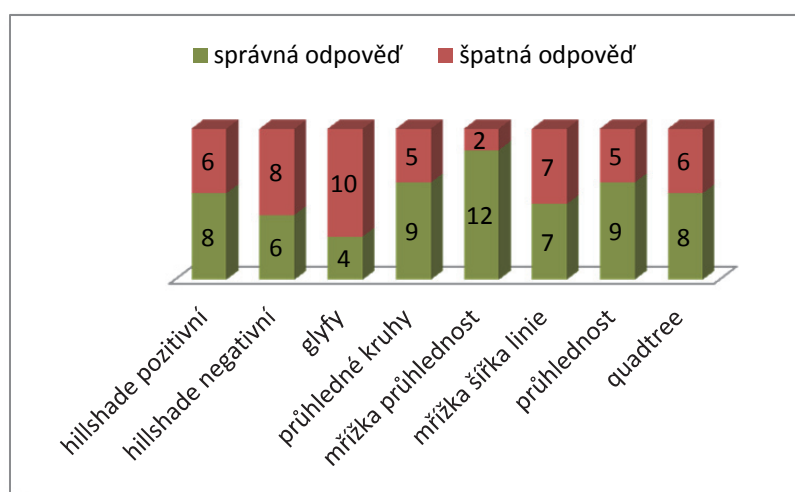
Vzhledem k dalšímu zkoumání navržených metod bylo pro následné srovnání zvoleno několik ukazatelů, které jsou dostupné po zpracování dat z eye-tracking zařízení. Z pohledu délky řešení úlohy (graf 9.2) je nejlépe hodnocena metoda *průhledných kruhů*, spolu s oběma metodami *mřížky* a metodou *quadtree*. Tento výsledek také koresponduje s počtem správných odpovědí. V rámci této metriky byla nejsložitější metodou metoda *hillshade pozitivní*, metoda *glyphů* a metoda *průhlednosti*. Tento předpoklad je opět podpořen vysokým počtem špatných odpovědí u těchto metod. Metrika délka úlohy však není ve výsledku vypovídající z důvodu rozdílné náročnosti úloh a také kvůli přestávkám během komunikace s operátorem. Pro splnění úlohy nebyl stanoven časový limit, o kterém by respondenti věděli. Byla sice nastavena celková doba úlohy, ale pouze z důvodu celkové časové náročnosti testování a při zohlednění předpokladu, že pokud respondent úlohu nevyhodnotí do 60 sekund, lze navrženou metodu považovat za nefunkční, co se týče přenosu informace a její intuitivnosti.

Pro vzájemné srovnání použitých metod lze využít také délku fixací (graf 9.3), jakožto ukazatel možné odlišitelnosti částí dané vizualizace. Předpokladem je, že pokud se u metody vyskytnou krátké fixace, uživatel není schopen v mapě odlišit jednotlivé části s vysokou nebo nízkou nejistotou. Tato metrika také ve srovnání s ostatními vykazuje největší rozdíly v homogenitě výsledků. Jako metoda s nejvyšší délkou fixací byla vyhodnocena metoda *mřížky s proměnnou šířkou linie* a *hillshade negativní*. Výsledky lze identifikovat také při následném srovnání počtu fixací (graf 9.4) vůči průměrné délce fixací. Z tohoto pohledu nejlépe hodnocenou metodou byla metoda *mřížky s proměnnou šířkou linie* a metoda *průhledných kruhů*. Malou intuitivnost metod přineslo srovnání zmíněných metrik u metody *glyphů* a metody *pozitivní hillshade*.

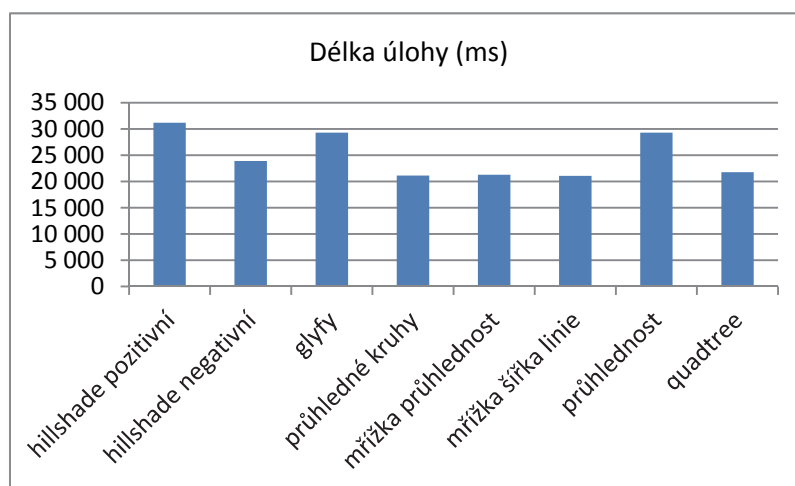
Pro konkrétní a detailní srovnání metod lze využít pouze metodu *hillshade negativní* a metodu *quadtree*. Jejich detailní srovnání je možné díky pokládání naprosto stejné otázky u obou vizualizací. Při srovnání pomocí heatmapy a průměrné doby fixací v rámci jednotlivých částí mapy (obr. 8.2) lze odvodit odlišné hodnoty. Metoda *quadtree* je z tohoto pohledu mnohem lépe vypovídající o celkovém rozložení nejistoty v mapovém poli a uživatelé svůj zrak fixovali převážně na místa s vysokou nejistotou. Diametrálně odlišná situace je patrná z výsledků u metody *negativní hillshade*, kdy nebyli respondenti schopni odlišit jednotlivé části s vyšší a nižší nejistotou.

Jako nejlépe hodnocené při porovnání všech metod a zkoumaných metrik byly vyhodnoceny metoda *průhledné mřížky* a *průhledných kruhů*, částečně také metoda *mřížky s odlišnou šířkou linie* a metoda *quadtree*. Při následném přehrávání záznamu bylo

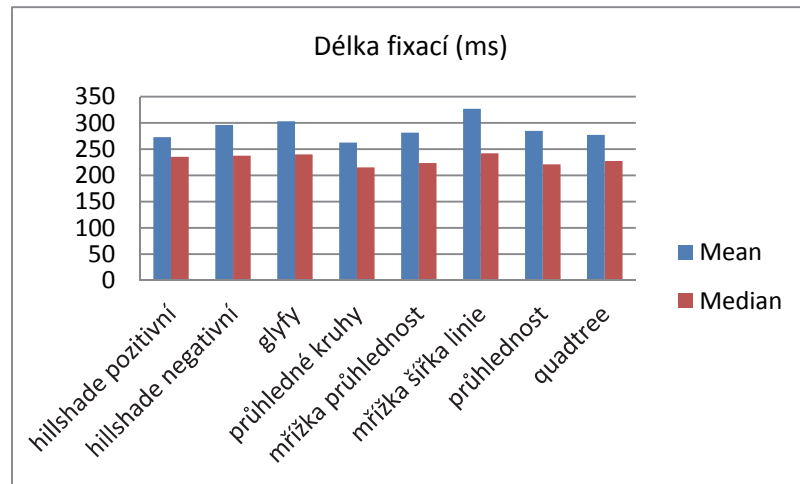
respondenty během „think aloud“ metody také potvrzeno, že tyto metody mají poměrně snadnou asociativnost. Jako méně vhodné se jeví obě navržené metody *hillshade* a metoda *glyfů*. Tyto metody prodlužovaly náročnost úlohy a z výsledků navíc vyplývá, že byly pro čtenáře nejhůře pochopitelné. Výsledky této studie lze považovat pouze jako částečně vypovídající. Důvodem je nehomogenita jednotlivých otázek z důvodu zabránění efektu učení, přesto výhodou celého testování je kombinace videozáznamu a dat z eye-trackingu, kdy je možné zpětně velmi dobře analyzovat výsledky. Značnou výhodou jsou také obdržené odpovědi jednotlivých respondentů, které nebyly zkreslené odlišným chováním díky přítomnosti operátora během testování. Důvodem byla předešlá spolupráce mezi testovanými subjekty a operátorem.



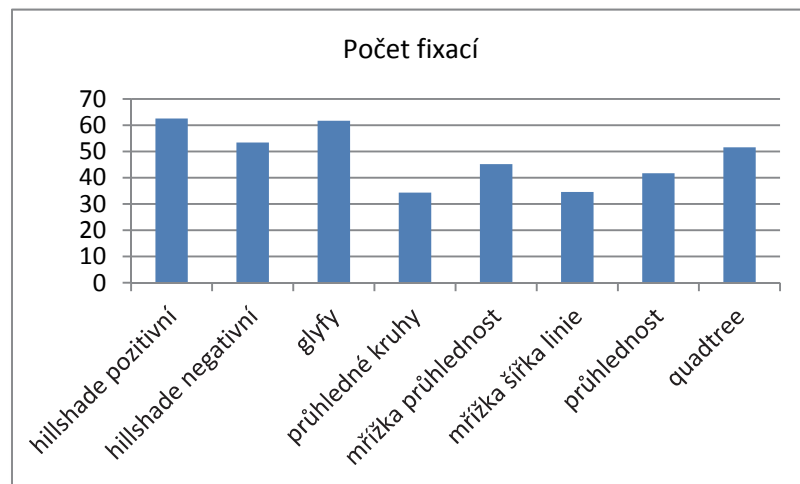
Graf 8.1 Počty správných a nesprávných odpovědí v testování jednotlivých metod vizualizace nejistoty prostřednictvím technologie eye-tracking



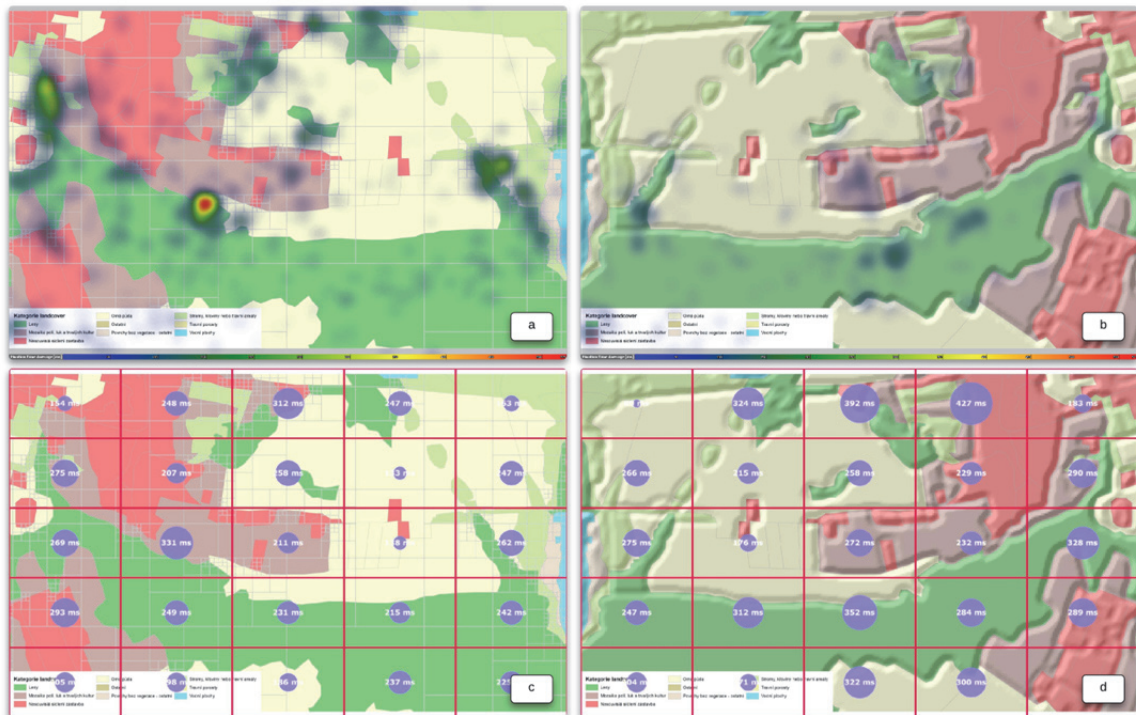
Graf 8.2 Délka hledání odpovědí při plnění zadaných úloh



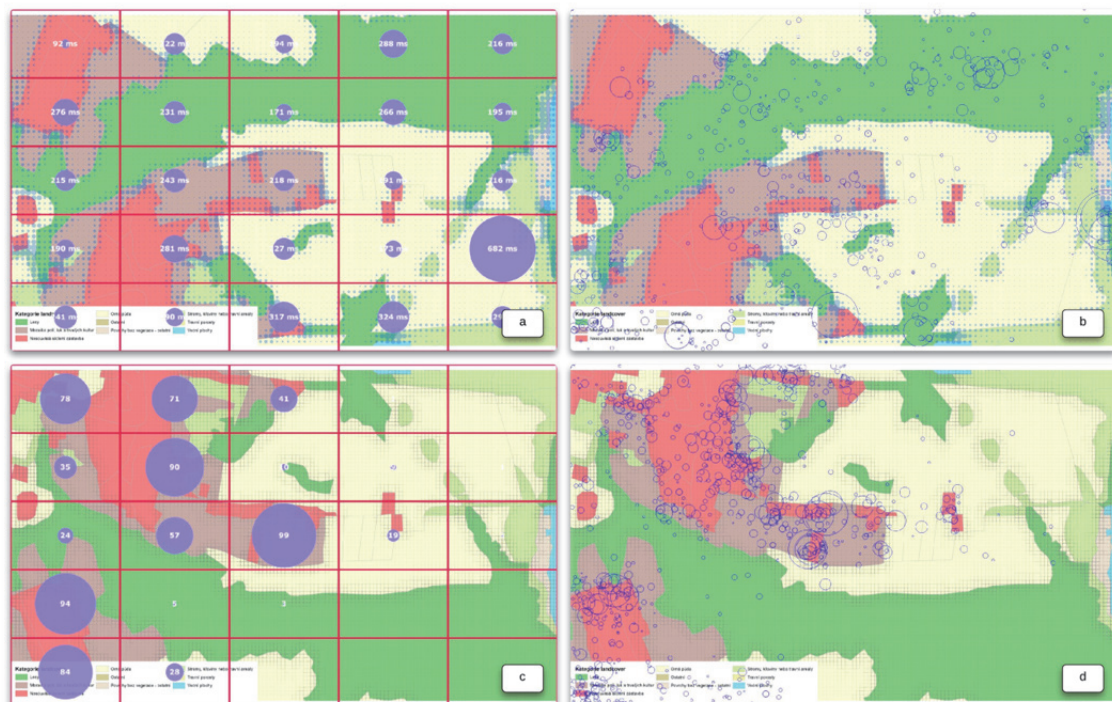
Graf 8.3 Délka fixací u hodnocených úloh



Graf 8.4 Počet fixací u hodnocených úloh



Obr. 8.2 Srovnání metod quadtree a hillshade negativní: heatmapy (a, b) a průměrná délka fixací v AOI (c, d)



Obr. 8.3: Srovnání metod průhledných kruhů a průhledné mřížky: průměrná délka fixací v AOI (a), počet fixací (c) a scanpath (b, d)

9 NÁVRH KONCEPTU VIZUALIZACE NEJISTOTY V ENVIRONMENTÁLNÍCH STUDIÍCH

Předešlé kapitoly práce shrnovaly jednotlivé poznatky, které se týkaly velkého množství jednotlivých aspektů, jež mohou mít zásadní vliv na vizualizaci nejistoty. Vizualizace nejistoty je z tohoto pohledu disciplínou, která leží na pomezí několika odlišných vědních oborů. Jako zcela výchozí bod při studiu nejistoty lze považovat vlastnosti nejistoty, které leží uvnitř samotné podstaty přírodních procesů a jsou jen velmi obtížně popsitelné. Následně všechna prostorová data, která jsou z reálného prostředí získána, mohou být analogicky postižena jistou formou nejistoty. Z pohledu vizualizace jsou tato data jen velmi špatně vizuálně reprezentovatelná ve formě odrážející jejich skutečnou povahu.

Nejistota je neoddelitelnou součástí nejen veškerých operací s prostorovými daty, ale také součástí všech výstupů a kartografických reprezentací. Z pohledu disertační práce byla nejistota chápána především kvalita prostorových dat, jako zásadní a klíčový prvek, který má vliv na celou řadu dalších faktorů. Vizualizací nejistoty je ovlivněn také celkový proces přenosu mezi původcem a příjemcem informace, protože dochází k celé řadě problémů při kartografické komunikaci. Při vymezování konceptu vizualizace nejistoty je nutné uvést, že existuje více pojetí nejistoty a nebylo v možnostech práce se všemi těmito nejistotami zabývat.

Jednotlivé komponenty prostorových dat vymezené v této disertační práci byly zkoumány z pohledu jednotlivých standardů a utvářejí skupiny popisných parametrů dat, které lze následně využít pro vizualizaci nejistoty. Většina těchto komponent je popsána pomocí metadat. Metadatový zápis jednotlivých komponent proto v popisu nejistoty hraje zásadní roli. Tato sdělení o informacích nesoucí údaje o míře kvality dat však i přes veškeré snahy v GIScience komunitě stále neobsahují popisy, návody nebo alespoň doporučení, jak následně informaci o kvalitě dat reprezentovat. Tato situace je navíc umocněna skutečností, že v rámci výzkumu na poli vizualizace nejistoty je jen malé množství prací, které se zabývají komplexní problematikou vizualizace nejistoty z pohledu kartografie. Tento fakt je výchozím předpokladem pro navržení konceptu pro rozhodovací proces pro vizualizaci nejistoty v environmentálních studiích. Samotný návrh konceptu vychází z rozhodovacího procesu pro výběr vyjadřovacího prostředku v rámci tematické kartografie [VOŽENÍLEK, KAŇOK A KOL., 2011]. Jako neoddelitelnou součást jednotlivých kritérií v rozhodovacím procesu při tvorbě mapy jsou následně doplněny jednotlivé aspekty vizualizace nejistoty tak, aby byl vytvořen celkový koncept. Navržený koncept je také doplněn o řadu poznatků získaných při řešení projektu *Inteligentní systém pro interaktivní podporu tvorby tematických map*, který byl řešen na Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci a v rámci kterého byla problematika rozhodovacích procesů a aspektů vizualizace detailně studována [BRUS A KOL., 2010; BRUS A KOL., 2009; DOBEŠOVÁ A BRUS, 2011].

Při tvorbě tematické mapy je výchozím krokem požadavek na samotnou vizualizaci, daný buď zadáním tematické mapy, nebo pouze potřebou data vizualizovat z důvodu lepšího pochopení studovaných dat a jevů. V tomto okamžiku se autor vizualizace dostává do situace, kdy se musí rozhodovat nad následnou variantou a jednotlivými kroky v procesu tvorby mapy. Na výběr je většinou větší množství možností a existuje více variant, ze kterých se dá při řešení konkrétní úlohy vycházet. Rozhodovací proces nad konkrétními

vlastnostmi výsledné reprezentace je následně vždy ovlivněn především již nabytými kartografickými schopnostmi tvůrce mapy a také znalostí o vizualizačních technikách obecně. Primárním zdrojem informací tedy bývá studium odborné literatury. Během této fáze by si odborník měl předem shromáždit a utřídit všechny běžně dostupné informace, na jejichž základě si osvojí základní znalosti, zejména terminologii v dané doméně. Vzhledem k faktu, že téměř 95 % všech mapových výstupů je spojeno s digitální reprezentací dat, je nutné do potřebných znalostí započítat také znalosti počítačové grafiky a příbuzných disciplín. Z pohledu zpracování dat a jejich následné vizualizace je nutno upozornit také na schopnost autora pracovat s různými dostupnými softwary, protože znalost a dostupnost technického a softwarového vybavení zásadně ovlivňuje celý proces mapové tvorby. U environmentálních studií je nutné tuto situaci ještě více zdůraznit, vzhledem ke skutečnosti, že jsou často porušovány zásady optimálního procesu tvorby mapy a autory konečných vizualizací jsou často přímo tematikové. Spolupráce tematika s kartografem je u environmentálních studií spíše výjimkou. Skupina uživatelů, která vizualizuje a dále zpracovává prostorová data s využitím programů pro tvorbu map týkajících se například územního plánování, ochrany přírody a dalších oblastí, tyto mapy velmi často tvoří intuitivně a nerespektuje kartografická pravidla. Touto situací se mění tradiční vztah mezi kartografem a mapovým uživatelem. Z tohoto důvodu je potřeba v rámci navrhovaného konceptu tyto výchozí znalosti tvůrce mapy zdůraznit a brát jako klíčové.

Pro navrhované schéma (obr. 9.1) je prvotním krokem stanovení cíle mapy. Hlavní cíl mapy by měl být vždy stanoven před samotnou vizualizací a následně rozpracován do jednotlivých dílčích cílů tak, aby bylo zajištěno, že budou všechny cíle naplněny. Důležitým faktorem je v tomto případě splnitelnost jednotlivých cílů a možnosti jejich naplnění. Cíle vizualizací s obsaženou nejistotou by měly být vždy předem kriticky zhodnoceny v návaznosti na následně formulované funkce vznikající vizualizace. Mělo by se rovněž vycházet z již definovaných metod a již vytvořených dílčích vizualizací tak, aby se postupovalo v souladu s tím, co je v daném tématu obvyklé. Tento postup byl také aplikován při řešení jednotlivých případových studií. Na používané metody je však třeba nahlížet s velkou obezřetností a také kriticky, protože jak již bylo popsáno v disertační práci, řada vizualizačních metod byla pouze navržena, ale již nebyly testovány na uživatelské aspekty. Celkově je také třeba ctít kartografické zásady a pravidla, aby se vizualizace nejistoty staly nástrojem, který napomůže realitu pochopit komplexněji.

Primární náplní hlavních i vedlejších cílů mapy je především uspokojení potřeb předpokládaných cílových uživatelů mapy. Tvůrce vizualizace, který má v úmyslu vizualizovat také kvalitu prostorových dat a s ní spojenou nejistotu, si musí uvědomit, že jednotlivé kroky v procesu čtení map jsou ovlivněny mnoha faktory. O této problematice pojednávala celá kapitola práce. Komunikační funkce mapy je závislá na vzdělání, ale především na odbornosti uživatele mapy. Zcela odlišně pracuje s mapou uživatel bez jakékoli znalosti vizualizačních technik pro zobrazování nejistoty a zcela odlišně také odborník, který se podobnému tématu věnuje delší dobu. Tato skutečnost byla potvrzena provedeným uživatelským testováním navržených vizualizací nejistoty, kdy mezi respondenty byly zjištěny zcela zásadní rozdíly v jednotlivých odpovědích. Z pohledu kartografie je také důležitý fakt, že existuje rozdíl mezi čtením mapy s obsaženou nejistotou kartografem a čtenářem bez kartografického vzdělání. Kartograf je schopen během čtení odlišit jemné detaily a může se soustředit na techniky pro vizualizaci nejistoty. Většina konečných uživatelů map s obsaženou nejistotou z tohoto pohledu nejsou kartografové, a kvůli tomuto faktu je rozdílnost čtení map kartografem při navrhování vizualizace

nepodstatná. Problém při čtení map je spojen také s věkem a zmiňovaným vzděláním čtenářů map. Vědecké mapy a vizualizace nejistoty používají náročné kartografické metody, kdy jsou tyto metody sice u specialistů běžně používány, přesto čtení map s nejistotou vyžaduje po uživateli značný přehled a orientaci v daném oboru. Po uživateli se vyžaduje především znalost specifické terminologie. Terminologie je nutná z důvodu pochopení studované domény a hlavně specifčnosti samotné vizualizace nejistoty. Tato nejistota je pevně spojena s daty a pro pochopení vizualizací musí být čtenář mapy s těmito fakty seznámen. Bez znalosti terminologie, procesů a specifikace konkrétních datových sad jsou pro uživatele navržené mapy často nesrozumitelné. Proto je cílová skupina uživatelů zcela klíčová pro výběr vizualizační metody, její náročnosti a také míry potřebné abstrakce pro její pochopení.

Navržený koncept přes problematiku uživatelů vizualizací pokračuje dále problematikou výběru nejvhodnějšího vyjadřovacího prostředku. Tato část je spojena s dalšími dvěma kritérii, která spolu souvisejí. Jedná se o objem sdělovaných informací a druh prostorových dat. Při stanovování míry komplexity mapy a výsledného objemu informací je nutné vycházet z již zavedených principů. Doporučení lze nalézt také v jednotlivých percepčních teoriích a zmiňovaných principech vizualizace informace. Obsah mapy je zcela zásadně ovlivněn cílem mapy, který následně dedikuje i výběr vhodných metod pro vizualizaci. Výběr konkrétních metod musí být ovlivněn především tím, co je primární zobrazovanou skutečností a kolik informací musí být v mapě obsaženo, aby se naplnil hlavní cíl mapy a z pohledu vizualizace nejistoty byly také naplněny tyto cíle. Závěry těchto úvah významně ovlivní celkové množství informací, a tím i grafické zaplnění mapy. Volba metod pro vizualizaci nejistoty je následně přímo závislá na výběru kartografických metod pro zobrazování jevu. Výběr metody se řídí také kritériem hodnocení druhu prostorových dat, které se provádí podle charakteru popisu vlastností znázorňovaných jevů [DOBEŠOVÁ A KOL., 2011]. V této fázi je tvorba vizualizace většinou ovlivněna expertem na danou problematiku a kartografem. Tvůrce vizualizací musí v rámci výběru nejvhodnějšího vyjadřovacího prostředku od experta získávat celou řadu informací, ty správně analyzovat a následně se správně rozhodnout nad konkrétním způsobem vizualizace. Po rozhodnutí následuje vytvoření mapy s obsaženou nejistotou.

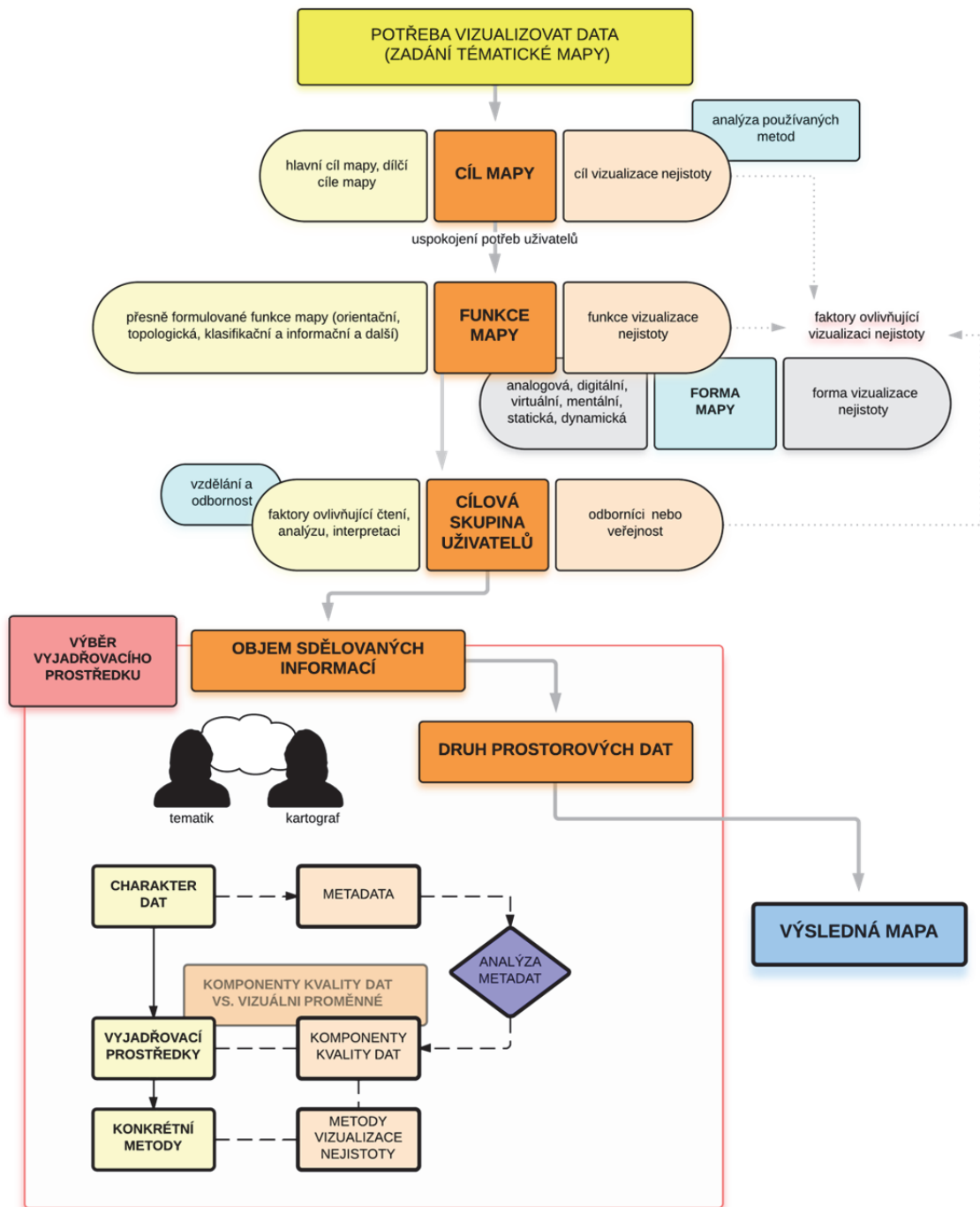
V rámci volby vyjadřovacích prostředků lze pokládat například následující otázky:

- Jaký je charakter zobrazovaných dat?
- Které komponenty kvality dat budou vizualizovány?
- Existuje k datům metadatový záznam?
- Jaké zvolit pro vizualizaci nejistoty vhodné vyjadřovací prostředky?
- Vybrat pro zobrazení nejistoty metody vnější nebo vnitřní?
- Které konkrétní metody pro vizualizaci nejistoty zvolit?

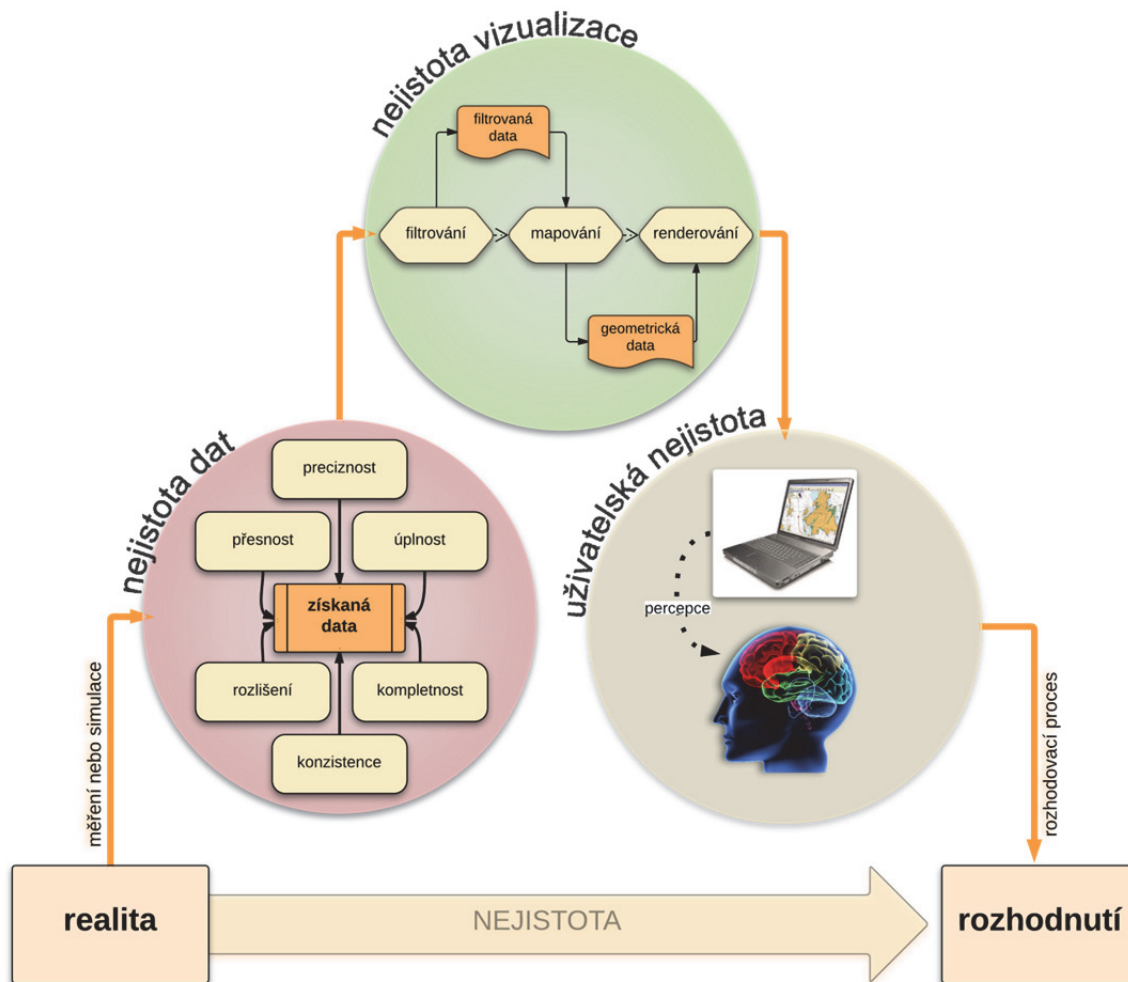
Získané expertní znalosti mají základ ve vzdělání, nasbíraných zkušenostech, inteligenci a intuici a komunikace s expertem. Efektivní integrace zmíněných složek vede k tvorbě rozhodnutí a výběru kartografické vyjadřovací metody pro vizualizaci nejistoty. Nezbytným předpokladem jsou informace o vizualizovaných datech, jedná se především o metadatový popis dat. Na základě podrobné analýzy jednotlivých komponentů kvality dat je dále nutné vybírat vhodné vizuální proměnné a umět touto integrací docílit správného přenosu informace o kvalitě dat pomocí konkrétní vizualizační metody nebo kombinací metod.

Pokud nejsou jednotlivá doporučení pro vizualizaci nejistoty dodržována, dochází k porušení teorie percepce a v mapových výstupech vznikají chyby a nepřesnosti, čímž dochází ke špatné interpretaci nejen jednotlivých částí, ale celého systému zobrazovaných dat. Z pohledu náročnosti vizualizací nejistoty tak účelná a správná mapa může vzniknout pouze za předpokladu, že dojde ke spolupráci třech odborníků (tematik, kartograf, geoinformatik) nebo týmu vědců, což dokládají i reálné situace, kdy nejpropracovanější vizualizace nejistoty lze najít právě u projektových záměrů a vzájemné spolupráce mezi týmy odborníků.

Celý proces vizualizace nejistoty lze na základě studia jednotlivých klíčových aspektů vizualizace nejistoty rozdělit do několika základních oblastí (obr. 9.2). Toto dělení koresponduje s dělením v jednotlivých kapitolách práce, nicméně v celé práci nebylo komplexně hodnoceno. Nejistota vzniká ve všech částech procesu kartografické komunikace a z pohledu možné eliminace se jedná o neodstranitelný element. Podle vzniku nejistoty lze hovořit o nejistotě při prezentaci prostorových dat kvůli odlišné kvalitě dat způsobené sběrem, transformací a dalšími vlivy. Vizualizační nejistota (nejistota vizualizace) vzniká následně celou řadou faktorů, kdy se zásadní procesy týkají převodu informací do digitální podoby a následného zobrazování konečným uživatelům. I samotní uživatelé jsou zdrojem nejistoty, protože na percepci má vliv celá řada osobnostních a dalších charakteristik. Je nutné zdůraznit, že některé faktory při vizualizaci nejistoty lze odstranit úplně, jiné je možné částečně eliminovat a některé je nutné brát jako výchozí a neměnný předpoklad při navrhování nově vznikajících vizualizací.



Obr. 9.1 Návrh konceptu vizualizace nejistoty v environmentálních studiích



Obr. 9.2 Jednotlivé formy nejistoty při rozhodovacím procesu založeném na vizuální reprezentaci prostorových dat

10 DISKUZE

V rámci jednotlivých kapitol práce již byly diskutovány dílčí problémy, které se u konkrétních aspektů vizualizace nejistoty objevují. Snahou rešeršní části práce bylo na tato problematická místa v návaznosti na obsah kapitoly čtenáře upozornit a daná témata vždy uvést v širších souvislostech. Z pohledu práce je zcela zásadní kriticky pohlížet na samotné vymezení pojmu nejistota v environmentálních studiích. Jak bylo řečeno v samotném počátku práce, neexistuje pouze jedno pojetí nejistoty, ale lze najít rozdílné koncepty, názory a definice. Na základě této rozporuplnosti je velmi problematické nalézat vhodné nástroje a teorie, které by postihovaly celou problematiku této vědní disciplíny. Kvůli komplexnosti dané problematiky také neexistuje jednotná metodologie, která by k tomuto tématu přistupovala globálně. Při řešení disertační práce proto bylo přistoupeno k vymezení tohoto termínu a byla využívána terminologie, která je využívána v rámci GIScience komunity. Vzhledem k této skutečnosti může být na práci jinými odborníky, převážně z oboru matematiky a informatiky, nahlíženo poněkud kriticky. V rámci pojetí práce je nejistota chápána především jako nedokonalá reprezentace reality v prostorových datech, která má přímou souvislost s kvalitou prostorových dat. Díky tomuto přístupu je i u případových studií modelování nejistoty v prostorových datech zjednodušené. Je to dáno jednak obsáhlostí dané problematiky, ale také nemožností zachytit všechny aspekty nejistoty v rámci jedné studie a komplexně je popsat. Proto jsou studie jistým kompromisem mezi tím, jak nejistotě porozumět a umět ji zachytit a jak ji vhodně vizuálně reprezentovat. I přes zjednodušení jsou vizualizace nejistoty nástrojem, jak se alespoň částečně přiblížit skutečné situaci a čtenářům mapy tak prezentovat informace lepším způsobem, což bylo doloženo velkým počtem odkazů na zahraniční literaturu, ale také samotným uživatelským testováním.

V práci byly pro možnosti vizualizace nejistoty definovány jednotlivé komponenty kvality prostorových dat, které vycházejí ze standardů prostorových dat. Z těchto standardů jsou v disertační práci vybrány pouze některé zásadní komponenty. Z důvodu obsáhlosti některých případových studií je vymezení všech komponentů kvality dat a jiných faktorů v rámci jedné práce prakticky nemožné. Zatímco některé studie se zabývají v podstatě jen jednou komponentou kvality dat, v rámci jiných studií je řešeno komponent mnohem více. Následné odlišení komponent pro vizualizaci je z tohoto pohledu značně problematické. I přes tuto skutečnost je z pohledu čtenáře mapy možnost vizuálně odlišit místa s proměnlivou kvalitou dat důležitá i z obecného hlediska. Pokud čtenář mapy začíná o prezentovaných datech uvažovat kriticky, je splněn základní předpoklad vizualizací nejistoty, tedy že čtenář bude moci tyto informace o různé kvalitě dat následně zakomponovat do rozhodovacího procesu. Pokud by navíc uživatel využil i metadatové informace o kvalitě dat, může dojít k syntéze poznatků. Vizualizační techniky u případových studií jsou z tohoto pohledu navrhovány primárně za účelem vizualizace pouze několika komponentů kvality, protože s rostoucí mírou informace roste také mapová komplexita a značně narůstá složitost úlohy.

Konečným a hlavním cílem vizualizací je ovlivnit rozhodovací proces čtenáře mapy. Z pohledu vizuální odlišitelnosti jednotlivých kartografických znaků je největším problémem a námětem k diskusi nedostatek softwarových prostředků pro vizualizaci nejistoty. Současné geografické informační systémy v sobě nemají implementovány téměř

žádné nástroje pro vizualizaci nejistoty, které by s nejistotou dovedly komplexněji pracovat. Vždy se jedná o pouze částečnou funkcionalitu možných způsobů vizualizace. Samotné výpočetní zázemí programové prostředky sice poskytují, ale pouze v rámci některých přístupů pro modelování nejistot. Chybí zde nástroj, který by uživateli umožňoval jednoduché a rychlé zobrazení pomocí více metod bez nutnosti konverze dat mezi různými programy.

V rámci některých softwarů je dostupná řada modulů a extenzí, které s nejistotou umějí pracovat, současně existuje i poměrně značné množství jednotlivých aplikací, ale jedná se většinou o výstupy z výzkumných aktivit, jež se po otestování nebo ukončení finanční podpory nedočkaly výraznějšího rozšíření nebo v některých případech ani ostrého provozu. Velmi často bývají tyto nástroje specializované na určitou část práce s nejistotou, proto komplexní řešení v tomto ohledu neexistuje. Navíc tyto prostředky většinou nejsou ani uživatelsky přívětivé, a po uživateli opět vyžadují zvládnutí hlubší teorie práce s nejistotou. Spíše jsou tedy využívány jako podpurné prostředky, neboť uživatel musí vědět, kde je najít, což opět značně komplikuje jejich použití.

Ze strany uživatele je nutná hlubší znalost uvedené problematiky a také značný přehled v GIS produktech. Běžného uživatele GIS tak na nejistotu spojenou s prostorovými daty klasické softwary neupozorní. Zásadní problém u některých programových prostředí je navíc samotná kartografická funkcionalita, která mezi GIS produkty značně kolísá. V praxi se tak musí přistupovat i ke komplikovaným řešením, která brání rozšíření mezi běžné uživatele. Typickým problémem je současné znázornění více atributů pomocí symbologie. Pro výslednou vizualizaci je často využíváno primárně grafických programů jako *CorelDraw*, *Adobe Photoshop*, *Adobe Illustrator* nebo jejich open-source variant. Problémem tohoto zpracování je však obtížný převod dat mezi různými softwary. Zatímco export z GIS do rastrového formátu je relativně jednoduchý, zpětná konverze je bez georeferencování obtížná, velmi často se při změně obrazu změní i jeho tvar a doplňkové informace k určení polohy (např. soubor *world file*) nejde použít. Pro zpracovávání datových sad a podkladů pro případové studie bylo využíváno dostupných GIS softwarových prostředků *ArcGIS for Desktop 10.1*, *IDRISI Andes*, *ILWIS*, *SAGA*, *QGIS* a další, včetně dostupných extenzí.

Pro zpracování relativně jednoduchých úloh bylo třeba vynaložit značné množství času hledáním vhodného programového prostředku pro vizualizaci. Tato skutečnost je zcela v rozporu se základním doporučením Wareho používat nové přístupy pouze pokud prokazatelně přinesou větší přínos v porovnání s časem a energií nutných pro jejich implementaci. Z tohoto pohledu je část metod aplikovaná na případové studie spíše možnou metodou vizualizace, pokud se testováním neprokáže jejich použitelnost. Současné poznání vlivu vizualizace nejistoty na rozhodovací procesy tak vždy vyžaduje praktické ověření volby správné vizualizační techniky na daný typ dat a situaci. Z tohoto důvodu je součástí práce i praktické testování vizualizačních přístupů s cílem pochopit a prohloubit poznatky k problematice vizualizace nejistoty z pohledu percepčních a kognitivních procesů.

Samotné testování jednotlivých metod má také svá omezení. Problémovou oblastí je počet respondentů, kterých bylo pouze 14. Tento počet snižuje objektivitu testování při kvantitativním vyhodnocení. Problémem je také absence statistického vyhodnocení testů. Vzhledem k tomu, že vzájemně porovnatelné metody nebyly z hlediska správnosti odpovědí vyhodnoceny jako vhodné k použití, nebylo ke statistickému vyhodnocování přistoupeno. Pro další testování by bylo nutné vytvořit nové testovací baterie a testovat již pouze nejvhodnější metody. Problémem je také zajištění dostatečného počtu respondentů pro

testování. Předpokladem je skutečnost, že pokud metody nebyly vhodné při testování kartografů, nebudou vhodné ani pro odborníky, kteří s kartografií mají menší zkušenosti. Možným rozšířením testování do budoucna je vybrat k testování respondenty pracující přímo s mapami půdního krytu, respektive prezentovanou tematikou. Možnosti rozšíření disertační práce nabízejí také další navržené vizualizace vytvořené v rámci jiných případových studií.

Možnost, jak v mapě zobrazit všechny aspekty nejistoty, je nesplnitelná. Zásadním a limitujícím prvkem jsou kartografické vyjadřovací prostředky, limity formy mapy a především samotní uživatelé dat. Z tohoto pohledu je zcela zásadní a nejvíce kritickou podmínkou smysluplnosti vizualizací jejich účel a především koncový uživatel. Práce v tomto ohledu jasně vymezuje pojem uživatelská nejistota vůči pojmu nejistota dat.

11 ZÁVĚR

Ke kartografické reprezentaci reality je využívána celá řada technik, které zahrnují zjednodušování prezentované problematiky pro zvolené měřítko a účel mapy. Někdy však dochází k situaci, kdy skrytá nebo potlačená informace o nejistotě prezentovaných informací dostává nový rozměr a je nezbytná ke správným rozhodnutím. V tomto případě je velmi těžké odhadnout, do jaké míry lze určitou informaci vynechat nebo potlačit, popřípadě vizualizovat vhodným způsobem. Na základě této skutečnosti bylo hlavním cílem práce posouzení základních konceptů pro vizualizaci nejistoty prostorových dat, identifikace problémů s nimi spojených a rozšíření rámce pro vizualizaci kvality prostorových dat. Nové pojetí tohoto výzkumu představuje rozšíření konceptů vizualizace kvality prostorových dat, integrace dat a realizace vizualizačních metod.

V rámci kapitol disertační práce jsou jednotlivé dílčí aspekty vizualizace nejistoty analyzovány, specifikovány a hodnoceny z pohledu samotné vizualizace nejistoty. Systematicky jsou prozkoumány jednotlivé dílčí koncepty z pohledu komponentů kvality prostorových dat, standardů kvality prostorových dat a vizualizačních technik s cílem navrhnout vylepšený koncept vizualizace nejistoty. Práce se zaměřuje na přehled jednotlivých faktorů ovlivňujících vizualizaci nejistoty za účelem vytvoření schématu, jak nejistotu prostorových dat v environmentálních studiích pochopit, analyzovat a implementovat do efektivních vizualizací s cílem umožnit čtenářům mapy dosáhnout lepších výsledků při rozhodování. Jednotlivými dílčími cíli práce je vymezení pojmu nejistota v rámci environmentálních studií především s ohledem na kvalitu prostorových dat, analýza jednotlivých komponent kvality prostorových dat a jejich standardizace, studium a analýza faktorů ovlivňujících percepci vizuální informace z map s obsaženou nejistotou, rešerše existujících přístupů k vizualizaci nejistoty s důrazem na environmentální studie a analýza používaných způsobů vizualizace nejistoty v environmentálních studiích a stanovení jejich specifických vlastností. Pro ověření poznatků byla provedena řada případových studií – vizualizace stabilních ploch v územním plánování, vizualizace nejistoty v digitálních modelech terénu, vizualizace ekotonů, vizualizace u změn půdního krytu dobývacího prostoru a vizualizace nejistoty meteorologických dat na příkladu interpolace průměrných teplot. V každé studii je uveden rozbor jednotlivých komponentů kvality dat, popsána metoda pro výpočet nejistoty a vybraný prvek kvality dat je vizualizován s důrazem na to, aby čtenář mapy byl schopen vizualizaci pochopit a následně začlenit do rozhodovacího procesu.

Na základě získaných poznatků byl proveden návrh objektivního řešení vizualizace nejistoty pro případové studie s důrazem na vizualizační techniky a bylo realizováno testování intuitivnosti navržených metod pro konkrétní případovou studii, a to s využitím technologie eye-tracking. Současně byl také vytvořen přehled jednotlivých vizualizačních metod pro vizualizaci nejistoty v prostorových datech. Na základě poznatků získaných při řešení práce bude následující výzkum věnován prohlubování testování navržených metod a také implementaci konkrétních vizualizačních pravidel a doporučení do formy expertního systému, který napomůže uživatelům s výběrem správné vizualizační metody pro konkrétní typ dat a úlohy. Vzhledem ke specifičnosti procesu vizualizace nejistoty a povaze nejistoty obsažené ve všech prostorových datech bude následné vytvoření tohoto systému přínosné pro vizualizaci dat v dalších environmentálních studiích.

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1.1 Schéma řešení disertační práce..... | 11 |
| Obr. 3.1 Přehled komplexnosti jednotlivých komponent nejistoty | 14 |
| Obr. 3.2 Rozdílné modely nejistoty vyplývající z aplikací teorií pravděpodobnosti, kategorizace a percepční teorie..... | 17 |
| Obr. 3.3 Konceptuální model nejistoty v prostorových datech | 19 |
| Obr. 4.1 Objekty P a Q jsou definovány pomocí pěti dimenzí | 24 |
| Obr. 4.2 Komponenty kvality dat | 32 |
| Obr. 4.3 Závislosti mezi charakteristikami kvality dat a geoinformatickým modelováním .. | 37 |
| Obr. 5.1 Schematický popis kartografie jako prostředku pro komunikaci – komunikační model mapy | 41 |
| Obr. 5.2 Komunikační model s vyznačenými místy, kde může docházet k šumu nebo nejistotě..... | 41 |
| Obr. 5.3 Model kartografické komunikace znázorňující jednotlivé kroky a problémové oblasti při poznávání skutečnosti upraveno podle..... | 42 |
| Obr. 5.4 Znázornění vztahu vizualizace a komunikace | 44 |
| Obr. 5.5 Moritův model kartografické komunikace | 45 |
| Obr. 5.6 Haberův a McNabbův model: vztah mezi vizualizací nejistoty a nejistotou vizualizace..... | 46 |
| Obr. 5.7 Model kartografické komunikace navržený MacEachrenem | 46 |
| Obr. 5.8 Zdroje a konkretizace nejistoty: procesy generování, přenos dat a reprezentace dat..... | 49 |
| Obr. 5.9 Základní vizuální proměnné mapového znaku | 51 |
| Obr. 5.10 Výběr vlastností prvků, které mohou být zpracovány pomocí primární vizuální mozkové kůry..... | 54 |
| Obr. 6.1 Model znázorňující rostoucí nejistotu; upraveno podle..... | 56 |
| Obr. 6.2 Proces zakomponování nejistoty do procesu vizualizace | 60 |
| Obr. 6.3 Přehled jednotlivých metod vizualizace nejistoty | 64 |
| Obr. 6.4 Shrnutí vizuálních proměnných a některých vizualizačních a dalších technik | 65 |
| Obr. 7.1 Srovnání jednotlivých územních plánů | 68 |
| Obr. 7.2 Změny funkčních ploch v Olomouci v období 1930–2009..... | 70 |
| Obr. 7.3 Ukázka využití výpočtu entropie pro vizualizaci nejistoty | 72 |
| Obr. 7.4 Detailní výřez rastru územního plánu z roku 1933 | 73 |
| Obr. 7.5 Výsledný rastr sumy entropií v jednotlivých územních plánech..... | 74 |
| Obr. 7.6 Vizualizace nejistoty použitím fuzzy dot method | 74 |
| Obr. 7.7 Vizualizace nejistoty (polohové přesnosti) metodou stínovaných vrstev (opticky vyšší vrstvy zobrazují vyšší nejistotu) | 75 |
| Obr. 7.8 Vizualizace nejistoty stabilních funkčních ploch prostřednictvím 3D viz. | 75 |
| Obr. 7.9 Různé metody vizualizace nejistoty stabilních funkčních ploch | 76 |

| | |
|---|-----|
| Obr. 7.10 a) běžně používaná přesnost povrchu s vyjádřením chyb pomocí absolutní hodnoty; (b) lokální indikátory prostorové asociace (LISA); HH – shluk vysokých hodnot chyb, LL – shluk nízkých hodnot chyb, HL a LH – prostorové outliery, SN – statisticky nevýznamný prvek..... | 79 |
| Obr. 7.11 Metoda izolinií použitá pro vizualizaci absolutní chyby | 80 |
| Obr. 7.12 Kategorie využití půdy v povodí Trkmanky v roce 2001 | 82 |
| Obr. 7.13 Schématický zakres ekotonů pomocí fuzzy regionu a stupně příslušnosti | 83 |
| Obr. 7.14 Vyjádření pásma přechodu sousedních společenstev pomocí | 85 |
| Obr. 7.15 Nastavení extenze POM Demonstrator pro určení přechodových pásem (ekotonů) | 86 |
| Obr. 7.16 Využití různých barevných modelů Luv, Lab a Ljg pro vizualizaci nejistoty | 87 |
| Obr. 7.17 Vizualizace ekotonů..... | 89 |
| Obr. 7.18 (a) vizualizace přechodových pásem mezi kategorií lesy a dalšími kategoriemi vypočítaná pomocí funkce Density surface; (b) ortofoto sledovaného území; (c) detail přechodového pásma; (d) vizualizované přechodové pásmo umístěné na ortofotu | 89 |
| Obr. 7.19 Vizualizace přechodových pásem v povodí Trkmanky pomocí průhlednosti vypočtená | 90 |
| Obr. 7.20 Rozdílná kvalita snímků DP Heřmanice v jednotlivých letech..... | 94 |
| Obr. 7.21 Problematické oblasti: (a) oblačnost; (b) nedokonalé pokrytí území snímky v roce 1994..... | 94 |
| Obr. 7.22 Vizualizace kategorií land cover v DP Heřmanice v roce 1994 s obsaženou nejistotou..... | 97 |
| Obr. 7.23 (a) metoda glyfů; (b) metoda průhledných geometrických znaků; (c) metoda průhlednosti..... | 98 |
| Obr. 7.24 Vizualizace kategorií land cover v DP Heřmanice 1994 s obsaženou nejistotou; (a) metoda pozitivního efektu hillshade; (b) metoda negativního efektu hillshade..... | 99 |
| Obr. 7.25 Křížová validace (vlevo) a grid teplot v ČR (vpravo)..... | 102 |
| Obr. 7.26 Vybrané metody vizualizace vhodné pro znázorňování klimatických dat | 103 |
| Obr. 7.27 Vizualizace nejistoty interpolační metod..... | 104 |
| Obr. 7.28 Vizualizace nejistoty interpolační metod..... | 104 |
| Obr. 7.29 HSI vizualizace nejistoty pro znázornění teploty v červenci 2000 | 105 |
| Obr. 8.1 Ukázka analýzy výsledků v software SMI BeeGaze 3.2.28 | 110 |
| Obr. 8.2 Srovnání metod quadtree a hillshade negativní..... | 114 |
| Obr. 8.3: Srovnání metod průhledných kruhů a průhledné mřížky | 114 |
| Obr. 9.1 Návrh konceptu vizualizace nejistoty v environmentálních studiích..... | 119 |
| Obr. 9.2 Jednotlivé formy nejistoty při rozhodovacím procesu založeném na vizuální reprezentaci prostorových dat..... | 120 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|-----|
| Tab. 4.1 Elementy kvality prostorových dat..... | 32 |
| Tab. 6.1 Typologie pro vizualizaci nejistoty | 59 |
| Tab. 7.1 Jednotlivé komponenty kvality dat vztažené ke studii územních plánů | 69 |
| Tab. 7.2 Jednotlivé komponenty kvality dat vztažené ke studii ekotonů v povodí Trkmanky | 82 |
| Tab. 7.3 Jednotlivé komponenty kvality dat vztažené ke studii změn kategorií land cover v DP Heřmanice | 92 |
| Tab. 8.1 Přehled testovaných metod | 110 |

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- 1 AALDERS, H., MORRISON, J. Spatial data quality for GIS. In.: Taylor & Francis, London/Bristol, 1998, p. 463-475.
- 2 AERTS, J. C., CLARKE, K. C., KEUPER, A. D. Testing popular visualization techniques for representing model uncertainty. *Cartography and Geographic Information Science*, 2003, 30(3), 249-261.
- 3 AG: ANZLIC Metadata Profile [online]. Australian Government - Office of Spatial Data Management, 2007, [cit. 12-2-2013]. Dostupné na WWW: <<http://spatial.gov.au/sites/default/files/legacy/osdm.gov.au/Metadata/ANZLIC%2BMetadata%2BProfile/default.html>>.
- 4 AHLQVIST, O. Visualisation of vague category counts - introducing the fuzzy dot density map. In *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*, Santiago de Chile, International Cartographic Association, 2009.
- 5 AIPPERSPACH, R.: Categorization and Toolkit Support for Uncertainty Visualization [online]. Berkeley, California University of Berkeley, 2006, [cit. 12-2-2013] Dostupné na WWW: <<http://vis.berkeley.edu/courses/cs294-10-sp06/wiki/images/2/21/AipperspachFinalReport.pdf>>.
- 6 ANTENUCCI, J. C. *Geographic information systems: a guide to the technology*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. ISBN 978-0-442-00756-0.
- 7 ARONOFF, S. *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa, Ont., Canada: WDL Publications, 1989. ISBN 978-0-921804-00-0.
- 8 ARRELL, K. E. *Predicting glacier accumulation area distributions*. Durham, 2005. Disertační práce. Durham University.
- 9 AVČR: Proč je náš výzkum důležitý? [online]. Ústav teorie informace a automatizace AV ČR, v.v.i., 2013, [cit. 12-3-2013]. Dostupné na WWW: <http://archiv.otevrena-veda.cz/index.php?p=proc_je_dulezity&site=utia>.
- 10 BAILEY, T. C., GATRELL, A. C. *Interactive spatial data analysis*. Harlow Essex, England; New York, NY: Longman Scientific & Technical; J. Wiley, 1995. ISBN 978-0-470-23502-7.
- 11 BAMFORTH, I. Edward R Tufte—the 'Information Man': a profile of America's leading proponent of effective strategies for seeing and showing. *The British Journal of General Practice*, 2011, 61(593), 737.
- 12 BARRY, S., ELITH, J. Error and uncertainty in habitat models. *Journal of Applied Ecology*, 2006, 43(3), 413-423.
- 13 BEARD, M., BUTTENFIELD, B. Detecting and evaluating errors by graphical methods. *Geographical information systems*, 1999, 1, 219-233.
- 14 BEARD, M. K., BUTTENFIELD, B. P., CLAPHAM, S. B. NCGIA Research Initiative 7: Visualization of Spatial Data Quality: Scientific Report for the Specialist Meeting 8-12 June 1991, Castine, Maine. Santa Barbara, 1991. National Center for Geographic Information and Analysis.
- 15 BEAUJARDIERE, J. *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification*. 2006. Open Geospatial Consortium Inc.
- 16 BENDA, L. Je sémantický web řešením? *Vesmír*, vol. 84, s. [Cit. 2-3-2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.vesmir.cz/clanek/je-semanticky-web-resenim>>.
- 17 BERTIN, J. *Graphics and graphic information-processing*. Berlin; New York: de Gruyter, 1981. ISBN 978-3-11-006901-3.
- 18 BERTIN, J. *Semiology of graphics*. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press, 1983. ISBN 978-0-299-09060-9.
- 19 BLADES, M., SPENCER, C. How do people use maps to navigate through the world? *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1987, 24(3), 64-75.
- 20 BOARD, C. Cartographic communication. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1972, 18(2), 42-78.
- 21 BOARDMAN, J., PEARCE, K., PONTING, A. Applications of probabilistic consequence assessment uncertainty analysis for plant management. *Radiation protection dosimetry*, 2000, 90(3), 373-376.

-
- 22 BOROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information System. In. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- 23 BOTCHEN, R. P., WEISKOPF, D., ERTL, T. Interactive visualization of uncertainty in flow fields using texture-based techniques. In Proceedings of the Symposium on Flow Visualization, 2006.
- 24 BOUKHELIFA, N., DUKE, D. The uncertain reality of underground assets. In Proceedings of the Joint Workshop "Visualization and Exploration of Geospatial Data", ISPRS, ICA, DGFK. June, 2007, 27-29.
- 25 BOULOS, M., MARAMBA, I., WHEELER, S. Wikis, blogs and podcasts: a new generation of Web-based tools for virtual collaborative clinical practice and education. BMC medical education, 2006, 6(1), 41.
- 26 BOURGEOIS, L., J Strategic goals, perceived uncertainty, and economic performance in volatile environments. Academy of Management Journal, 1985, 548-573.
- 27 BRECHEISEN, R., VILANOVA, A., PLATEL, B., et al. Parameter sensitivity visualization for DTI fiber tracking. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2009, 15(6), 1441-1448.
- 28 BRODLIE, K., OSORIO, R. A., LOPES, A. A Review of Uncertainty in Data Visualization. In Expanding the Frontiers of Visual Analytics and Visualization. Springer, 2012, 81-109 s. ISBN 978-1-4471-2803-8.
- 29 BRUGGER, W. Filosofický slovník. Praha: Naše vojsko, 1994. 639 s. ISBN 978-80-206-0409-5.
- 30 BRUS, J. Sledování antropogenních změn krajiny v dobývacím prostoru dolu Heřmanice s využitím GIT. 2007. Diplomová práce. Ostravská univerzita v Ostravě. Katedra fyzické geografie a geoekologie.
- 31 BRUS, J. The role of standards in spatial data quality visualisation. In Proceedings of the 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, v tisku, 2013.
- 32 BRUS, J., BURIAN, J., POPELKA, S. Visualization of uncertainty in determining the rate of suburbanization on the example of the Olomouc city. In Proceedings of the 12th South East Asian Survey Congress - SEASC 2013, Manila, Filipíny, (v tisku), 2013a.
- 33 BRUS, J., DOBEŠOVÁ, Z., KAŇOK, J. Utilization of expert systems in thematic cartography. 2009 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (Incocs 2009), 2009, 285-289.
- 34 BRUS, J., DOBEŠOVÁ, Z., KAŇOK, J., et al. Design of Intelligent System in Cartography. 9th Roedunet leee International Conference, 2010, 112-117.
- 35 BRUS, J., PECHANEC, V., KILIANOVÁ, H. Ecotones - challenge in visualisation of landscape heterogeneity. In Proceedings of the 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, STEF, 2012a 1013-1020.
- 36 BRUS, J., PECHANEC, V., KILIANOVÁ, H. Uncertainty vs. spatial data quality visualisations: A case study on ecotones. In Proceedings of the 13th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, v tisku, 2013b.
- 37 BRUS, J., PECHANEC, V., KILIANOVÁ, H., et al. The Evolution of the Floodplain Forests as Indicators of Landscape Changes in the Alluvium of the Morava river. In Proceedings of the 21st International Conference on Geoinformatics, Kaifeng, Čína (v tisku), 2013c.
- 38 BRUS, J., POPELKA, S., SVOBODOVÁ, J. Exploring Effectiveness of Uncertainty Visualization Methods by Eye-Tracking. In Proceedings of the Tenth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Florianopolis, Brazil, C. VIEIRA, V. BOGORNY, A.R. AQUINO eds., 2012b.
- 39 BRUS, J., POPELKA, S., VOŽENÍLEK, V. An Assessment of Quantitative Uncertainty Visualization Methods for Interpolated Meteorological Data. In Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications ICSSA 2013, HoChi Minh, Vietnam, Springer Verlag (v tisku), 2013d.
- 40 BRUS, J., SVOBODOVÁ, J. The spatial expression of an uncertainty for the quality assesment of the digital elevation models. In Proceedings of the 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, STEF, 2012 417-424.
- 41 BURIAN, J., BRUS, J., VOŽENÍLEK, V. Development of Olomouc city in 1930–2009: based on analysis of functional areas. Journal of Maps, 2013, 9, 64-67.
- 42 BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R., BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems. Oxford; New York: Oxford University Press, 1998. ISBN 978-0-19-823366-4.

-
- 43 BURT, J. E., ZHU, A.-X., HARROWER, M. Depicting classification uncertainty using perception-based color models. *Annals of GIS*, 2011, 17(3), 147-153.
- 44 BUTTENFIELD, B., BEARD, M. K. Graphical and geographical components of data quality. *Visualization in geographic information systems*, 1994, 150-157.
- 45 CAHA, J., TUČEK, P., VONDRÁKOVÁ, A., et al. Slope Analysis of Fuzzy Surfaces. *Transactions in GIS*, 2012, 16(5), 649-661.
- 46 CARTWRIGHT, W. Neocartography: opportunities, issues and prospects. *South African journal of geomatics*, 2012, 1(1), 14-31.
- 47 CEDILNIK, A., RHEINGANS, P. Procedural annotation of uncertain information. *Visualization 2000, Proceedings*, 2000, 77-84.
- 48 CEN. CEN /TC 287. ENV 12657:1998 Geographic information – Data description – Metadata. 1998.
- 49 CENELEC: European Standards Organizations (ESOs) [online]. CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardization 2013, [cit. 15-4-2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whoweare/europeanpartners/index.html>>.
- 50 COHEN, A. D. *Strategies in learning and using a second language*. Longman, 1999. ISBN 0582305888.
- 51 COHN, A. G., GOTTS, N. M. The 'egg-yolk' representation of regions with indeterminate boundaries. *Geographic objects with indeterminate boundaries*, 1996, 2, 171-187.
- 52 CONINX, A., BONNEAU, G.-P., DROULEZ, J., et al. Visualization of uncertain scalar data fields using color scales and perceptually adapted noise. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, ACM, 2011, 59-66.
- 53 CORNÉLIS, B., BRUNET, S. A Policy-Maker Point of View on Uncertainties in Spatial Decisions. In W.Z. SHI, P.F. FISHER, M.F. GOODCHILD eds. *Spatial data quality*. London, New York: Taylor & Francis, 2002, 168-185 s. ISBN 978-0-415-25835-7.
- 54 CORREA, C. D., CHAN, Y. H., MA, K. L. A framework for uncertainty-aware visual analytics. In *Proceedings of the Visual Analytics Science and Technology*, IEEE, 2009, 51-58.
- 55 COUCLELIS, H. The certainty of uncertainty: GIS and the limits of geographic knowledge. *Transactions in GIS*, 2003, 7(2), 165-175.
- 56 CRAMPTON, J. W. Maps as social constructions: power, communication and visualization. *Progress in Human Geography*, 2001, 25(2), 235-252.
- 57 ČADA, V. Základní registr prostorové identifikace a digitální soubor geodetických informací. *Zeměměřič*, vol. 2001, s. [cit. 11-1-2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.zememeric.cz/10-01/register.html>>.
- 58 ČERBA, O. Popis dat pro geoinformační technologie. 2010. Studijní materiály. Západočeská univerzita v Plzni. Katedra matematiky, oddělení geomatiky.
- 59 DEITRICK, S. A. Uncertainty visualization and decision making: Does visualizing uncertain information change decisions. In *Proceedings of the XXIII International Cartographic Conference Moskva*, 2007.
- 60 DEMPSTER, A. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. *Classic Works of the Dempster-Shafer Theory of Belief Functions*, 2008, 57-72.
- 61 DESMET, P. Effects of interpolation errors on the analysis of DEMs. *Earth surface processes and landforms*, 1997, 22(6), 563-580.
- 62 DEVILLERS, R., BÉDARD, Y., JEANSOULIN, R. Multidimensional management of geospatial data quality information for its dynamic use within GIS. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 2005, 71(2), 205-215.
- 63 DEVILLERS, R., JEANSOULIN, R. *Fundamentals of spatial data quality*. London; Newport Beach, CA: ISTE, 2006. ISBN 978-1-905209-56-9.
- 64 DEVILLERS, R., STEIN, A., BÉDARD, Y., et al. Thirty Years of Research on Spatial Data Quality: Achievements, Failures, and Opportunities. *Transactions in GIS*, 2010, 14(4), 387-400.
- 65 DILO, A. Representation of and reasoning with vagueness in spatial information: a system for handling vague objects. Wageningen, 2006. Disertační práce. Wageningen University.
- 66 DOBEŠOVÁ, Z., BRUS, J. Coping with Cartographical Ontology. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (Sgem 2011), Vol II, 2011, 377-384.
-

-
- 67 DOBEŠOVÁ, Z., PENÁZ TOMÁŠ, BRUS JAN, et al. *Intelligentní systémy v tematické kartografii*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 9788024429502 8024429500.
- 68 DORLING, D., FAIRBAIRN, D. *Mapping: Ways of representing the world*. Prentice Hall, 1997. ISBN 978-0-582-28972-7.
- 69 DRECKI, I. Visualisation of uncertainty in geographical data. In *Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Quality*, Hong Kong, W.Z. SHI, M.F. GOODCHILD, P.F. FISHER eds., 2000 260-271.
- 70 DRECKI, I. Representing geographical information uncertainty: cartographic solutions and challenges. *Proceedings of 24th International Cartographic Conference*, vol., s. [cit. 12-3-2013]. Dostupné na WWW: <http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/B1-Data%20quality/CO-085.pdf>.
- 71 DRECKI, I. Representing geographical information uncertainty: evaluation of current typologies in GIScience domain. *Proceedings of 25th International Cartographic Conference*, vol., s. [cit. 12-3-2013]. Dostupné na WWW: <http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/B1-Data%20quality/CO-085.pdf>.
- 72 DUBOIS, D., PRADE, H. Possibility theory, probability theory and multiple-valued logics: A clarification. *Annals of mathematics and Artificial Intelligence*, 2001, 32(1-4), 35-66.
- 73 DUCKHAM, M., MASON K., STELL, J., et al. A formal approach to imperfection in geographic information. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2001, 25(1), 89-103.
- 74 DUDEK, I. Poznání a neurčitost základní racionální přístupy a praktické metody. *E-Logos: Electronic Journal for Philosophy*, vol., s. [cit. Dostupné na WWW].
- 75 DYKES, J., MACEACHREN, A. M., KRAAK, M. J. *Exploring Geovisualization* Burlington: Elsevier, 2005. ISBN 978-0-08-053147-2.
- 76 EC. NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 1089/2010 ze dne 23. listopadu 2010, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/2/ES, pokud jde o interoperabilitu sad prostorových dat a služeb prostorových dat. In: 2010
- 77 EHLSCHLAEGER, C. R., SHORTRIDGE, A. M., GOODCHILD, M. F. Visualizing spatial data uncertainty using animation. *Computers & Geosciences*, 1997, 23(4), 387-395.
- 78 ERDOGAN, S. A comparison of interpolation methods for producing digital elevation models at the field scale. *Earth surface processes and landforms*, 2009, 34(3), 366-376.
- 79 ERXLEBEN, J., ELDER, K., DAVIS, R. Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow distribution in the Colorado Rocky Mountains. *Hydrological processes*, 2002, 16(18), 3627-3649.
- 80 EVANS, B. J. Dynamic display of spatial data-reliability: Does it benefit the map user? *Computers & Geosciences*, 1997, 23(4), 409-422.
- 81 EYSENCK, M. W., KEANE, M. T. *Kognitivní psychologie*. Praha: Academia, 2008. ISBN 978-80-200-1559-4.
- 82 FABRIKANT, S. I. Evaluating the usability of the scale metaphor for querying semantic spaces. In D.R. MONTELLO ed. *Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science*. Berlin: Springer, 2001, 156-172 s. ISBN.
- 83 FABRIKANT, S. I., BUTTENFIELD, B. P. Formalizing semantic spaces for information access. *Annals of the Association of American Geographers*, 2001, 91(2), 263-280.
- 84 FARINA, A. *Principles and methods in landscape ecology*. London; New York: Chapman & Hall, 1998. ISBN 978-0-412-73040-5.
- 85 FAUSETT, L. V. *Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1994. ISBN 978-0-13-334186-7.
- 86 FEGEAS, R. G., CASCIO, J. L., LAZAR, R. A. An overview of FIPS 173, the spatial data transfer standard. *Cartography and Geographic Information Science*, 1992, 19(5), 278-293.
- 87 FERANEC, J., OŤAHEL, J. *Krajinná pokrývka Slovenska = Land cover of Slovakia*. Bratislava: VEDA, 2001. ISBN 978-80-224-0663-5.
- 88 FGDC. *Content Standard for Digital Geospatial Metadata (FGDC CSDGM)*. 2008
-

-
- 89 FISHER, P. Animation and sound for the visualization of uncertain spatial information. *Visualisation in Geographical Information Systems*, 1994, 181-185.
- 90 FISHER, P. Improved modeling of elevation error with geostatistics. *GeoInformatica*, 1998, 2(3), 215-233.
- 91 FISHER, P., COMBER, A., WADSWORTH, R. Approaches to uncertainty in spatial data. In R. DEVILLERS, R. JEANSOULIN eds. *Fundamentals of Spatial Data Quality*. London: ISTE, 2006, 43-59 s. ISBN 978-0-470-61215-6.
- 92 FISHER, P. F. Visualizing uncertainty in soil maps by animation. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1993, 30(2), 20-27.
- 93 FISHER, P. F. Models of uncertainty in spatial data. *Geographical information systems*, 1999, 1, 191-205.
- 94 FISKE, S. T., TAYLOR, S. E. *Social cognition: from brains to culture*. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2008. ISBN 978-0-07-340552-0.
- 95 FOODY, G. M., ATKINSON, P. M., WILEY, J. *Uncertainty in remote sensing and GIS*. Hluboken: Wiley Online Library, 2002. ISBN 978-0-470-84408-3.
- 96 FORMAN, R. T. T., JOLANA, M., MICHEL, G. *Krajinná ekologie*. Praha: Academia : Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1993. ISBN 978-80-200-0464-2.
- 97 FRANKLIN, J., MILLER, J. A. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. ISBN 978-0-52-187635-3
- 98 FRIENDLY, M. Visions and re-visions of Charles Joseph Minard. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 2002, 27(1), 31-51.
- 99 GAHEGAN, M., BRODARIC, B. Computational and Visual Support for Geographical Knowledge Construction: Filling in the gaps between exploration and explanation. In *Proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Data Handling*. Springer, 2002, p. 11-25.
- 100 GAHEGAN, M., EHLERS, M. A framework for the modelling of uncertainty between remote sensing and geographic information systems. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2000, 55(3), 176-188.
- 101 GAO, J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEMs at a micro-scale. *International Journal of Geographical Information Science*, 1997, 11(2), 199-212.
- 102 GAO, Y. Phase transition of tractability in constraint satisfaction and Bayesian network inference. In *Proceedings of the Nineteenth conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2002, 265-271.
- 103 GARTNER, G., BENNETT, D. A., MORITA, T. Towards ubiquitous cartography. *Cartography and Geographic Information Science*, 2007, 34(4), 247-257.
- 104 GERHARZ, L. E., PEBESMA, E. J. Usability of interactive and non-interactive visualisation of uncertain geospatial information. In *Proceedings of the Geoinformatik 2009 Konferenzband*, W. REINHARDT, A. KRÜGER, M. EHLERS eds., 2009, 223-230.
- 105 GERSHON, N. Visualization of an imperfect world. *Computer Graphics and Applications*, IEEE, 1998, 18(4), 43-45.
- 106 GIENKO, G., LEVIN, E. Eye-tracking in augmented photogrammetric technologies. In *Proceedings of the ASPRS International Conference*, Baltimore, USA, 2005.
- 107 GOLDBERG, J. H., KOTVAL, X. P. Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, 24(6), 631-645.
- 108 GOLLEDGE, R. G., STIMSON, R. J. *Spatial behavior : a geographic perspective*. New York: Guilford Press, 1997. ISBN 978-1-57230-050-7.
- 109 GOODCHILD, M. F. Stepping over the line: technological constraints and the new cartography. *The American Cartographer*, 1988, 15(3), 311-319.
- 110 GOODCHILD, M. F. Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 1992a, 18(4), 401-408.
- 111 GOODCHILD, M. F. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1992b, 6(1), 31-45.
- 112 GOODCHILD, M. F. Integrating GIS and remote sensing for vegetation analysis and modeling: methodological issues. *Journal of Vegetation Science*, 1994, 5(5), 615-626.
-

-
- 113 GOODCHILD, M. F., GOPAL, S. The accuracy of spatial databases. London: Taylor & Francis 2003. 308 s. ISBN 978-0-85066-847-6.
- 114 GOODCHILD, M. F., PARKS, B. O., STEYAERT, L. T. Environmental modeling with GIS 1993.
- 115 GOODCHILD, M. F., YUAN, M., COVA, T. J. Towards a general theory of geographic representation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, 21(3), 239-260.
- 116 GOUSIE, M., FRANKLIN, W. R. Converting elevation contours to a grid. In *Proceedings of the Eighth International Symposium on Spatial Data Handling*, Vancouver, 1998, 647-656.
- 117 GRIETHE, H., SCHUMANN, H. The visualization of uncertain data: Methods and problems. In *Proceedings of the SimVis*, 2006, 143-156.
- 118 GUPTILL, S. C., MORRISON, J. L. Elements of spatial data quality. Oxford, U.K.: Elsevier Science, 1995. ISBN 978-0-08-042432-3.
- 119 HABER, R. B., MCNABB, D. A. Visualization idioms: A conceptual model for scientific visualization systems. *Visualization in scientific computing*, 1990, 74, 74-93.
- 120 HACK, H. Digital data for engineering geology: disaster or benefit. European Science Foundation, "Virtual environments for the Geosciences", Space-time modelling of bounded natural domains. Rolduc, the Netherlands, 1997.
- 121 HAINING, R., WISE, S., SIGNORETTA, P. Providing scientific visualization for spatial data analysis: Criteria and an assessment of SAGE. *Journal of Geographical Systems*, 2000, 2(2), 121-140.
- 122 HALLISEY, E. J. Cartographic Visualization: An Assessment and Epistemological Review. *Professional Geographer*, 2005, 57(3), 350-364.
- 123 HARMAN, G., KULKARNI, S.: Reliable reasoning induction and statistical learning theory [online]. Cambridge, Mass. MIT Press, 2007, <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&nlebk&db=nlabk&AN=189264>>.
- 124 HARROWER, M. Representing uncertainty: Does it help people make better decisions. In *Proceedings of the UCGIS Workshop: Geospatial Visualization and Knowledge Discovery Workshop*, Citeseer, 2003.
- 125 HARROWER, M., BREWER, C. Colorbrewer. org: an online tool for selecting colour schemes for maps. *Cartographic Journal*, The, 2003, 40(1), 27-37.
- 126 HAYWOOD, P. The National Transfer Format. Report of the Working Party, 1987.
- 127 HEALEY, C. G., BOOTH, K. S., ENNS, J. T. High-speed visual estimation using preattentive processing. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 1996, 3(2), 107-135.
- 128 HEISENBERG, W. The uncertainty principle. *Educational Materials and Equipment*, 1974.
- 129 HENGL, T. Visualisation of uncertainty using the HSI colour model: computations with colours. In *Proceedings of the 7th International Conference on GeoComputation*, 2003, 8-17.
- 130 HENGL, T.: Uncertainty visualization [online]. Hengl, T., 2011, [cit. 15-12-2012]. Dostupné na WWW: <http://spatial-analyst.net/wiki/index.php?title=Uncertainty_visualization>.
- 131 HENGL, T., GRUBER, S., SHRESTHA, D. Digital terrain analysis in ILWIS. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands, 2003, 62.
- 132 HENGL, T., HEUVELINK, G. B. M., STEIN, A. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, May 2004, 120(1-2), 75-93.
- 133 HOFIERKA, J., CEBECAUER, T., ŠŮRI, M. Optimisation of interpolation parameters using cross-validation. In *Digital Terrain Modelling*. Springer, 2007, 67-82 s. ISBN 978-3-540-36730-7.
- 134 HOJOVEC, V. Kartografie. Praha: Geodetický a kartografický podnik, 1987.
- 135 HOLMQVIST, K. Eye tracking: a comprehensive guide to methods and measures. Oxford; New York: Oxford University Press, 2011. ISBN 978-0-19-969708-3.
- 136 HOPE, S., HUNTER, G. Testing the effects of positional uncertainty on spatial decision-making. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, 21(6), 645-665.
- 137 HORÁK, J. Zpracování dat v GIS. Ostrava, 2011. Studijní materiál. VŠB-TU Ostrava. Institut geoinformatiky.
- 138 HOUBIE, F., BIGAGLI, L. OGC® Catalogue Services Standard 2.0 Extension Package for ebRIM Application Profile: Earth Observation Products Copyright. 2010. Open Geospatial Consortium Inc.
-

-
- 139 HŘEBÍČEK, J., HEJČ, M. Current Trends in Environmental Modelling with Uncertainties. In Proceedings of the 2nd International Summer School on Computational Biology. Brno, 2006, p. 90-99.
- 140 HUNTER, G. J. Managing uncertainty in GIS. *Geographical information systems*, 1999, 2, 633-641.
- 141 HUNTER, G. J., and GOODCHILD, M. Managing uncertainty in spatial databases: Putting theory into practice. In Proceedings of the THE ANNUAL CONFERENCE-URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS ASSOCIATION, URISA URBAN AND REGIONAL INFORMATION SYSTEMS, 1993, 15-15.
- 142 HUNTER, G. J., GOODCHILD, M. F. Modeling the uncertainty of slope and aspect estimates derived from spatial databases. *Geographical Analysis*, 1997, 29(1), 35-49.
- 143 HUNTER, G. J., JONES, S., BREGT, A., et al. Spatial data quality. *Advanced Geographic Information Systems. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Oxford, UK, 2003.
- 144 CHAMBERS, J. M. Graphical methods for data analysis. Belmont: Wadsworth International Group ; Duxbury Press, 1983. ISBN 978-0-87150-413-5.
- 145 CHRISMAN, N. The error component in spatial data. *Geographical information systems*, 1991, 1, 165-174.
- 146 CHRISMAN, N. R. Part 2: Issues and Problems Relating to Cartographic Data Use, Exchange and Transfer: The Role Of Quality Information In The Long-Term Functioning Of A Geographic Information System. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1984, 21(2), 79-88.
- 147 ISO. ISO 9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability. 1998.
- 148 ISO. ISO 19113:2002 Geographic information - Quality principles. 2002.
- 149 ISO. ISO 19114:2003 Geographic information - Quality evaluation procedures. 2003a.
- 150 ISO. ISO 19115:2003 Geographic information - Metadata. 2003b.
- 151 ISO. ISO/TS 19138:2006 Geographic information - Data quality measures. 2006.
- 152 ISO. ISO 19131:2007 Geographic information - Data product specifications. 2007.
- 153 ISO. ISO/DIS 19157 Geographic information - Data quality 2013.
- 154 IVÁNOVÁ, I. Data quality in spatial datasets. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2007. 157 s. ISBN 978-80-227-2621-4.
- 155 JANSEN, L. J., GREGORIO, A. D. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 91(1), 89-100.
- 156 JCGM. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement 2008. Joint Committee for Guides in Metrology.
- 157 JENNESS, J., BROST, B., BEJER, P. Land Facet Corridor Designer: Extension for ArcGIS. [Jenness Enterprises, 2011.
- 158 JOHNSON, C. R., SANDERSON, A. R. A next step: Visualizing errors and uncertainty. *Computer Graphics and Applications*, IEEE, 2003, 23(5), 6-10.
- 159 JONÁK, Z. Znalost. In: KTD: Česká terminologická databáze knihovnictví a informační vědy (TDKIV) [online]. Praha: Národní knihovna ČR, 2003a. [cit. 12-3-2013] Dostupné z: URL].
- 160 JONÁK, Z. Informace. In: KTD: Česká terminologická databáze knihovnictví a informační vědy (TDKIV) [online]. Praha: Národní knihovna ČR, 2003b. [cit. 12-3-2013] Dostupné z: URL].
- 161 JONÁK, Z. Data. In: KTD: Česká terminologická databáze knihovnictví a informační vědy (TDKIV) [online]. Praha: Národní knihovna ČR, 2003c. [cit. 12-3-2013] Dostupné z: URL].
- 162 JONES, K., DEVILLERS, R., BÉDARD, Y., et al. Visualizing perceived spatial data quality of 3D objects within virtual globes. *International Journal of Digital Earth*, 2013.
- 163 KALOUDA, F. Riziko a nejistota—příspěvek k precizaci pojmů. In Proceedings of the 5. mezinárodní konference Řízení a modelování finančních rizik, Ostrava, VŠB-TU Ostrava, Ekonomická fakulta, katedra Financí, 2010.
- 164 KAŇOK, J. Tematická kartografie. Ostrava: Ostravská univerzita, 1999. ISBN 978-80-7042-781-1.
- 165 KARDOS, J., MOORE, A., BENWELL, G. Visualising uncertainty in spatially-referenced attribute data using hierarchical spatial data structures. In Proceedings of the 7th International Conference on GeoComputation, UK, 2003.
-

-
- 166 KARDOS, J., MOORE, A., BENWELL, G. Expressing attribute uncertainty in spatial data using blinking regions. In Proceedings of the 27th international symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences, Citeseer, 2006, 5-7.
- 167 KELLER, P., KELLER, M. Visual cues : practical data visualization. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press 1993. ISBN 978-0-8186-3101-6.
- 168 KILIANOVÁ, H., PECHANEC, V., LACINA, J. Ekotony v současné krajině: analýza a modelování ekotonů v povodí Trkmanky. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2473-6.
- 169 KLINGSEISEN, B. GIS based generation of topographic attributes for landform classification. Perth, 2004. Curtin University of Technology. Metternicht Department of Spatial Sciences.
- 170 KLIR, G. J., WIERMAN, M. J. Uncertainty-based information: elements of generalized information theory. New York: Physica Verlag, 1999. ISBN 978-3-7908-1242-8.
- 171 KOBUS, D. A., PROCTOR, S., HOLSTE, S. Effects of experience and uncertainty during dynamic decision making. International Journal of Industrial Ergonomics, 2001, 28(5), 275-290.
- 172 KOLÁČNÝ, A. Cartographic information—a fundamental concept and term in modern cartography. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 1977, 14(1), 39-45.
- 173 KOMENDA, S. Základy statistiky ve zdravotnictví. Olomouc: Univerzita Palackého, 1991. ISBN 978-80-7067-079-8.
- 174 KOSARA, R. Tufte and the Truth about the Challenger. EagerEyes, vol., s. [cit. 22-1-2013]. Dostupné na WWW: <<http://eagereyes.org/criticism/tufte-and-the-truth-about-the-challenger>>.
- 175 KOSARA, R., MIKSCH, S., HAUSER, H. Focus+ context taken literally. Computer Graphics and Applications, IEEE, 2002, 22(1), 22-29.
- 176 KOSHMAN, S. Visualizing metadata for environmental datasets. In Proceedings of the International Conference on Dublin Core and Metadata Applications, 2010, 11-19.
- 177 KRAAK, M. J. Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques. Delft, 1988. Disertační práce. Delft University Press.
- 178 KRAAK, M. J., ORMELING, F. Cartography: visualization of geospatial data. Harlow, England: Prentice Hall, 2003. ISBN 978-0-13-088890-7.
- 179 KRESSE, W., FADAIE, K. ISO standards for geographic information. Berlin; New York: Springer, 2004. ISBN 978-3-540-20130-4.
- 180 KŘIVÝ, I., KINDLER, E. Simulace a modelování. Ostrava: Ostravská univerzita, 2001. ISBN 978-80-7042-809-2.
- 181 KUBÍČEK, P. Možnosti testování kartografické vizualizace polohové nejistoty. Kartografické listy, vol. 19, s. [cit. 15-2-2013]. Dostupné na WWW: <<http://gis.fns.uniba.sk/kartografickelisty/archiv/KL19/10.pdf>>.
- 182 KUBÍČEK, P., STACHOŇ, Z.: Uživatelské aspekty kartografické vizualizace zdravotnických dat [online]. Olomouc 2013, [cit. 22-4-2013]. Dostupné na WWW: <http://kartografickyden.upol.cz/prezentace/7_rocnik/03_Kubicek_Stachon.pdf>.
- 183 KUBÍČEK, P., ŠAŠINKA, Č. Thematic uncertainty visualization usability—comparison of basic methods. Annals of GIS, 2011, 17(4), 253-263.
- 184 KUBÍČEK, P., ŠTAMPACH, R., GERYK, E. Metody kartografické vizualizace dat zdravotního stavu obyvatelstva. Miscellanea Geographica, 2008, (14), 91-98.
- 185 KURTZMAN, D., KADMON, R. Mapping of temperature variables in Israel: a comparison of different interpolation methods. Climate Research, Sep 7 1999, 13(1), 33-43.
- 186 KUVAAS, B., KAUFMANN, G. Individual and organizational antecedents to strategic-issue interpretation. Scandinavian Journal of Management, 2004, 20(3), 245-275.
- 187 LA SAUSSURE, F. Course in General Linguistics. New York: Open Court, 1986. ISBN 978-0-8126-9706-3.
- 188 LEITNER, M., BUTTENFIELD, B. P. Guidelines for the display of attribute certainty. Cartography and Geographic Information Science, 2000, 27(1), 3-14.
- 189 LERMUSIAUX, P. F., CHIU, C., S, GAWARKIEWICZ, G. G., et al. Quantifying uncertainties in ocean predictions. Oceanography, 2006, 19(1).
-

-
- 190 LEYK, S., BOESCH, R., WEIBEL, R. A Conceptual Framework for Uncertainty Investigation in Map-based Land Cover Change Modelling. *Transactions in GIS*, 2005, 9(3), 291-322.
- 191 LI, R. A theory of conceptual intelligence: thinking, learning, creativity, and giftedness. Westport: Praeger, 1996. ISBN 978-0-275-95326-3.
- 192 LILLESAND, T. M. Remote sensing and image interpretation. New York; Chichester: Wiley, 2003. ISBN 978-0-471-15227-9.
- 193 LODHA, S. K., VENABLE, E., MARSH, D., et al. Use of natural sounds and metaphors for data perceptualization. In *Proceedings of the Photonics West 2001-Electronic Imaging*, International Society for Optics and Photonics, 2001, 180-190.
- 194 LONGLEY, P. Geographic information systems and science. Hoboken: Wiley, 2011. 539 s. ISBN 978-0-470-72144-5.
- 195 LOPES, A., BRODLIE, K. Accuracy in 3D particle tracing. In *Mathematical Visualization*. Springer, 1998, 329-341 s. ISBN 978-3-642-08373-0.
- 196 LÓPEZ, C. Improving the elevation accuracy of digital elevation models: A comparison of some error detection procedures. *Transactions in GIS*, 2000, 4(1), 43-64.
- 197 LOVE, A. L., PANG, A., KAO, D. L. Visualizing spatial multivalued data. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 2005, 25(3), 69-79.
- 198 LUCIEER, A. Visualization for exploration of uncertainty related to fuzzy classification. In *Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on, IEEE*, 2006, 903-906.
- 199 LUCIEER, A., KRAAK, M.-J. Interactive and visual fuzzy classification of remotely sensed imagery for exploration of uncertainty. *International Journal of Geographical Information Science*, 2004, 18(5), 491-512.
- 200 MACEACHREN, A. M. Visualizing uncertain information. *Cartographic Perspectives*, 1992, 13(13), 10-19.
- 201 MACEACHREN, A. M. How maps work: representation, visualization, and design. New York: Guilford Press, 1995. ISBN 978-0-89862-589-9.
- 202 MACEACHREN, A. M. How maps work: representation, visualization, and design. New York: The Guilford Press, 2004. ISBN 978-1-57230-040-8.
- 203 MACEACHREN, A. M., BREWER, C. A., and PICKLE, L. W. Visualizing georeferenced data: representing reliability of health statistics. *Environment and Planning A*, 1998, 30, 1547-1562.
- 204 MACEACHREN, A. M., KRAAK, M.-J. Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. *Computers & Geosciences*, 1997, 23(4), 335-343.
- 205 MACEACHREN, A. M., KRAAK, M.-J. Research challenges in geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, 2001, 28(1), 3-12.
- 206 MACEACHREN, A. M., MONMONIER, M. Geographic Visualization - Introduction. *Cartography and Geographic Information Systems*, Oct 1992, 19(4), 197-200.
- 207 MACEACHREN, A. M., ROBINSON, A., HOPPER, S., et al. Visualizing geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know. *Cartography and Geographic Information Science*, 2005, 32(3), 139-160.
- 208 MACEACHREN, A. M., ROTH, R. E., O'BRIEN, J., et al. Visual Semiotics & Uncertainty Visualization: An Empirical Study. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 2012, 18(12), 2496-2505.
- 209 MARCH, J. G., SIMON, H. A. Organizations. New York: Wiley, 1958. ISBN 978-0-471-56793-6
- 210 MAY, M., SCHMIDT, B., STREIT, U., et al. Web-Service-basierte 3D-Visualisierung im Umfeld der Raumplanung. In *Proceedings of the Intern. Symp. CORP*, 2003.
- 211 MCFEDRIES, P. Tufte-isms [Technically Speaking]. *Spectrum, IEEE*, 2012, 49(2), 25-25.
- 212 MCGRANAGHAN, M. A cartographic view of spatial data quality. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualisation*, 1993, 30(2), 8-19.
- 213 MEZIAS, J. M., STARBUCK, W. H. Studying the accuracy of managers' perceptions: a research odyssey. *British Journal of Management*, 2003, 14(1), 3-17.

-
- 214 MILLER, H. J., HAN, J. Geographic data mining and knowledge discovery. London; New York: Taylor & Francis, 2001. ISBN 978-0-415-23369-9
- 215 MOELLERING, H. A draft proposed standard for digital cartographic data. Columbus, Ohio: National Committee for Digital Cartographic Data Standards, 1987.
- 216 MOELLERING, H. Continuing research needs resulting from the SDTS development effort. *Cartography and Geographic Information Science*, 1994, 21(3), 180-189.
- 217 MONMONIER, M., BRANDEN, J., B. Design guide for environmental maps. Trenton, NJ: Dept. of Environmental Protection, Division of Science and Research, 1997.
- 218 MONMONIER, M. S. How to lie with maps. Chicago: University of Chicago Press, 1996. ISBN 978-0-226-53421-3.
- 219 MONTELLO, D. R. A new framework for understanding the acquisition of spatial knowledge in large-scale environments. *Spatial and temporal reasoning in geographic information systems*, 1998, 143-154.
- 220 MONTELLO, D. R. Cognitive map-design research in the twentieth century: Theoretical and empirical approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 2002, 29(3), 283-304.
- 221 MONTELLO, D. R. Cognitive research in GIScience: Recent achievements and future prospects. *Geography Compass*, 2009, 3(5), 1824-1840.
- 222 MONTELLO, D. R., WALLER, D., HEGARTY, M., et al. Spatial memory of real environments, virtual environments, and maps. *Human spatial memory: Remembering where*, 2004, 251-285.
- 223 MOORE, I. D., GRAYSON, R., LADSON, A. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 1991, 5(1), 3-30.
- 224 MORITA, T. Ubiquitous mapping in Tokyo. In *Proceedings of the First International Joint Workshop on Ubiquitous, Pervasive and Internet Mapping Tokyo Japan*, 2004, 7-9.
- 225 MORRISON, J. L. Applied Cartographic Communication: Map Symbolization For Atlases. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1984, 21(1), 44-84.
- 226 MORTON, K., BALAZINSKA, M., GROSSMAN, D., et al. A Measurement Study of Two Web-based Collaborative Visual Analytics Systems. 2012. Technical Report UW-CSE-12-08-01, Univ. of Washington, <ftp://ftp.cs.washington.edu/tr/2012/08/UW-CSE-12-08-01>. PDF.
- 227 NEDOVIC-BUDIC, Z. Evaluating the effects of GIS technology: review of methods. *Journal of Planning Literature*, 1999, 13(3), 284-295.
- 228 NONAKA, I., TAKEUCHI, H. The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation. New York: Oxford University Press, 1995. ISBN 978-0-19-509269-1.
- 229 NOVÁK, V. Základy fuzzy modelování. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 978-80-7300-009-7.
- 230 O'LOONEY, J. Beyond maps: GIS and decision making in local government. Redlands, California: ESRI Press, 2000. ISBN 978-1-879102-79-8.
- 231 OLSTON, C., MACKINLAY, J. D. Visualizing data with bounded uncertainty. In *Proceedings of the Information Visualization, 2002. INFOVIS 2002. IEEE Symposium IEEE*, 2002, 37-40.
- 232 OORT, P. V. Spatial data quality: from description to application. Delft: NCG, Nederlandse Commissie voor Geodesie, 2005. ISBN 978-90-6132-295-5
- 233 OPENSHAW, S., ABRAHART, R. J. Geocomputation. CRC, 2000. ISBN 978-0-7484-0900-6.
- 234 OTT, E. Chaos in dynamical systems. Cambridge: Cambridge university press, 2002. ISBN 978-0-521-01084-9.
- 235 PANG, A. Visualizing uncertainty in geo-spatial data. In *Proceedings of the Workshop on the Intersections between Geospatial Information and Information Technology*, 2001, 1-14.
- 236 PANG, A. T., WITTENBRINK, C. M., LODHA, S. K. Approaches to uncertainty visualization. *The Visual Computer*, 1997, 13(8), 370-390.
- 237 PAPPENBERGER, F., MATGEN, P., BEVEN, K. J., et al. Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. *Advances in Water Resources*, 2006, 29(10), 1430-1449.
- 238 PARADIS, J. R., BEARD, K. Visualization of spatial data quality for the decision maker: a data quality filter. 1994. in *Surveying Engineering*, University of Maine.

-
- 239 PECHANEC, V., BRUS, J. Expert system for landscape assesment based on GIS. In Proceedings of the 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2012 369-376.
- 240 PECHANEC, V., BRUS, J., CAHA, J. Determining ecotones by decision support systems. In Proceedings of the DATESO 2011, V. SNÁŠEL, K. POKORNÝ, K. RICHTA eds., VSB - Technical University of Ostrava, FEEDS, Department of Computer Science, 2011a 206-215.
- 241 PECHANEC, V., BRUS, J., KILIANOVÁ, H. Modeling Spatial Distribution of Ecotones in Geographical Information System. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (Sgem 2011), Vol Ii, 2011b, 637-644.
- 242 PECHANEC, V., BRUS, J., MIŘIJOVSKÝ, J. Monitoring of Snow Risks by Geo-Sensors in Urban Areas. 11th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (Sgem 2011), Vol Ii, 2011c, 653-660.
- 243 PERROT, P. A to Z of thermodynamics. Oxford; New York: Oxford University Press, 1998. ISBN 978-0-19-856552-9.
- 244 PEUQUET, D. J. Representations of space and time. New York: Guilford Press, 2002. ISBN 978-1-57230-773-5.
- 245 PLEWE, B. The nature of uncertainty in historical geographic information. Transactions in GIS, 2002, 6(4), 431-456.
- 246 POPELKA, S., BRYCHTOVÁ, A., BRUS, J., et al. Advanced Map Optimization Based on Eye-Tracking. In C. BATEIRA ed. Cartography – A Tool for Spatial Analysis. Rijeka: Intech, 2012, 99-118 s. ISBN.
- 247 PORTELE, C. OGC® Geography Markup Language (GML) — Extended schemas and encoding rules. 2012. Open Geospatial Consortium Inc.
- 248 POTTER, K., ROSEN, P., JOHNSON, C. R. From Quantification to Visualization: A Taxonomy of Uncertainty Visualization Approaches. In Uncertainty Quantification in Scientific Computing. Springer, 2012, 226-249 s. ISBN 978-3-642-32676-9.
- 249 POTTER, K., WILSON, A., BREMER, P.-T., et al. Ensemble-vis: A framework for the statistical visualization of ensemble data. In Proceedings of the Data Mining Workshops, 2009. ICDMW'09. IEEE International Conference on, IEEE, 2009, 233-240.
- 250 PRAVDA, J. Metódy mapového vyjadrovania: klasifikácia a ukážky. Bratislava: Geografický ústav: Slovenská akadémia vied, 2006. 127 s. ISBN 1210-3519.
- 251 PRAŽÁK, J.: Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí [online]. Zdiby Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Terminologická komise Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, 2005 - 2013, [cit. 12-12-2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>>.
- 252 RAPANT, P. Geoinformatika a geoinformační technologie. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geoinformatiky, 2006. ISBN 978-80-248-1264-9.
- 253 REGAN, H. M., COLYVAN, M., BURGMAN, M. A. A taxonomy and treatment of uncertainty for ecology and conservation biology. Ecological applications, 2002, 12(2), 618-628.
- 254 RENARD, B., KAVETSKI, D., LEBLOIS, E., et al. Toward a reliable decomposition of predictive uncertainty in hydrological modeling: Characterizing rainfall errors using conditional simulation. Water Resources Research, 2011, 47(11).
- 255 RHEINGANS, P., JOSHI, S. Visualization of molecules with positional uncertainty. In Proceedings of the Data Visualization'99, Springer, 1999, 299-306.
- 256 ROBINSON, A., HOWARD, SALE, R., D., MORRISON, J., L. Elements of cartography. New York: Wiley, 1978. ISBN 978-0-471-01781-3.
- 257 RÖSSLER, T. Nejistoty měření. Olomouc, 2011. Učební materiály. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci. Katedra experimentální fyziky.
- 258 ROTH, R., E.: Cartography 2.0 - The Nature of Geospatial Uncertainty [online]. GITHUB, 2009, [cit. 11-11-2012]. Dostupné na WWW: <<https://github.com/ajturner/neocartography/wiki/GeospatialUncertainty>>.
- 259 ROWLEY, J. The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. Journal of Information Science, 2007, 33(2), 163-180.
- 260 RŮŽIČKA, J. Platforma otevřený GeoWeb. Ostrava, 2007. Habilitační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Hornicko-geologická fakulta.
-

-
- 261 ŘEZNÍK, T. Dokumentace metadatového profilu ČÚZK pro datové sady, série datových sad a služby podle požadavků INSPIRE a ISO norem 19115, 19119 a 19139. Praha, 2012. Zeměměřický úřad. Dostupné na WWW: <[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(xzzbsw45whantbnbeb1blk45\)\)/Dokumenty/Dokumentace_meta_datoveho_profilu_CUZK.pdf](http://geoportal.cuzk.cz/(S(xzzbsw45whantbnbeb1blk45))/Dokumenty/Dokumentace_meta_datoveho_profilu_CUZK.pdf)>.
- 262 ŘEZNÍK, T. Geografická informace v době směrnice INSPIRE: nalezení, získání a využití dat pro geografický výzkum. *Geografie - Sborník České geografické společnosti*, 2013, 118(1).
- 263 SABINS, F. F. Remote sensing: principles and interpretation. New York: W.H. Freeman and Co., 1997. ISBN 978-0-7167-2442-1.
- 264 SAGER, L., GRIER, R., JACKSON, C., et al. Visualization Techniques for Revealing Uncertainty to Decision Makers. In *Proceedings of the Human Systems Integration symposium (HSIS)*, 2007.
- 265 SANYAL, J., ZHANG, S., BHATTACHARYA, G., et al. A user study to compare four uncertainty visualization methods for 1d and 2d datasets. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 2009, 15(6), 1209-1218.
- 266 SAYERS, P., GOULDBY, B., SIMM, J., et al. Risk, performance and uncertainty in flood and coastal defence: A review. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs, 2006.
- 267 SENARATNE, H., GERHARZ, L., PEBESMA, E., et al. Usability of Spatio-Temporal Uncertainty Visualisation Methods. *Bridging the Geographic Information Sciences*, 2012, 3-23.
- 268 SHAFER, G. A mathematical theory of evidence. Princeton: Princeton university press 1976.
- 269 SHANNON, C. E., WEAVER, W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- 270 SHI, W. Chapter 13. In M. MADDEN ed. *Manual of geographic information systems*. Bethesda, Md.: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, s. ISBN 978-1-57083-086-0.
- 271 SHI, W. Principles of modeling uncertainties in spatial data and spatial analyses. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 2010. ISBN 978-14-20059-27-4
- 272 SHI, W., GUO, W. Topological relationships between spatial objects with uncertainty. In W.Z. SHI, P.F. FISHER, M.F. GOODCHILD eds. *Spatial data quality*. London, New York: Taylor & Francis, 2002, 50-61 s. ISBN 978-0-415-25835-7.
- 273 SCHNEIDERMAN, B., PANG, A. T. Visualizing Uncertainty: Computer Science Perspective. In *Proceedings of the Toward Improved Visualization of Uncertain Information*, Washington, National Academy of Sciences, 2005.
- 274 SCHÜTZ, A. C., BRAUN, D. I., GEGENFURTNER, K. R. Eye movements and perception: A selective review. *Journal of vision*, 2011, 11(5).
- 275 SLIVIAKOVÁ, A., STACHOŇ, Z., ŠAŠINKA, Č., et al. Assessment of user characteristics of cartographic products: Interaction of human and GIS. *Kognice a umělý život IX*, 2009, 297-304.
- 276 SLOCUM, T. A. Thematic cartography and geographic visualization. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2005. ISBN 978-0-13-035123-4.
- 277 SLOCUM, T. A., CLIBURN, D. C., FEDDEMA, J. J., et al. Evaluating the usability of a tool for visualizing the uncertainty of the future global water balance. *Cartography and Geographic Information Science*, 2003, 30(4), 299-316.
- 278 SMETS, P. Imperfect information: Imprecision, and uncertainty. *Uncertainty Management in Information Systems*, 1996, 1996, 225-254.
- 279 SOLIM: The SoLIM Project [online]. Dept. of Geography, UW-Madison, 2011, [cit. 21-2-2013]. Dostupné na WWW: <<http://solimserver.geography.wisc.edu/software/index.htm>>.
- 280 STEIN, A., MEER, F. V. D., GORTE, B. Spatial statistics for remote sensing. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999. ISBN 978-1-4020-0551-0.
- 281 STERNBERG, R. J. Kognitivní psychologie. Praha: Portál, 2002. ISBN 80-7178-376-5.
- 282 STERZER, P., REES, G. Perceived size matters. *Nature neuroscience*, 2006, 9(3), 302-302.
- 283 STEWART, J., KENNELLY, P. J. Illuminated choropleth maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 2010, 100(3), 513-534.
- 284 STIGLER, S. M. The history of statistics: the measurement of uncertainty before 1900. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1986. ISBN 978-0-674-40340-6
-

-
- 285 SVOBODOVÁ, J. Hodnocení kvality digitálních výškových modelů pro environmentální aplikace. 2011. Disertační práce. Ostravská univerzita v Ostravě. Přírodovědecká fakulta.
- 286 SVOBODOVÁ, J., VOŽENÍLEK, V. Relief for Models of Natural Phenomena. In Landscape Modelling. Springer, 2010, 183-196 s. ISBN 978-90-481-3051-1.
- 287 ŠAŠINKA, Č. Interindividuální rozdíly v percepci prostoru a map. Brno, 2012. Disertační práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Psychologický ústav.
- 288 ŠÍMA, J. Geoinformační terminologie pro geodety a kartografy : výklad 200 základních termínů, anglické, německé a ruské ekvivalenty. Zdiaby: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 2003. ISBN 978-80-85881-20-2
- 289 ŠTĚRBA, Z. Objektivizace a optimalizace hodnocení kartografické symboliky pro mapy v krizovém řízení. 2012. Disertační práce. Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta.
- 290 TASTAN, H., ALTAN, M. Spatial Data Quality. In Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days, Istanbul, 1999, 15-30.
- 291 THOMSON, J., HETZLER, E., MACEACHREN, A., et al. A typology for visualizing uncertainty. In Proceedings of the SPIE, 2005, 146-157.
- 292 TÓTH, K., TOMAS, R., JAKOBSSON, A., et al. Data quality in INSPIRE: from requirements to metadata - Discussion paper. Krakow, 2010. European Commission. Dostupné na WWW:<http://www.eurogeographics.org/sites/default/files/INSPIRE_DQ_MD_v1.9.pdf>.
- 293 TREINISH, L. A. Task-specific visualization design. Computer Graphics and Applications, IEEE, 1999, 19(5), 72-77.
- 294 TRYHUBOVÁ, P. Principy INSPIRE a standardizace ve vazbě na data ZABAGED R. 2013. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební, Katedra mapování a kartografie.
- 295 TUČEK, J. Geografické informační systémy : principy a praxe. Praha: Computer Press, 1998. ISBN 978-80-7226-091-1.
- 296 TUČEK, P., PÁSZTO, V., VOŽENILEK, V. Regular use of entropy for studying dissimilar geographical phenomena. Geografie, 2009, 114(2), 117-129.
- 297 TUFTE, E. R. Envisioning information. Cheshire: Graphics Press, 1994. ISBN 978-0-9613921-1-6.
- 298 TUFTE, E. R. Visual explanations: images and quantities, evidence and narrative. Cheshire: Graphics Press, 1997. ISBN 978-0-9613921-2-3.
- 299 TUFTE, E. R. The visual display of quantitative informations 2nd edition. Cheshire: Graphics Press, 2001. ISBN 978-0-9613921-4-7.
- 300 TURLEY, M. C., FORD, E. D. Definition and calculation of uncertainty in ecological process models. Ecological Modelling, 2009, 220(17), 1968-1983.
- 301 TURNER, A. Introduction to Neogeography [online]. [Farnham]: O'Reilly, 2006 [cit. 5-3-2013]. Dostupné na WWW:
<http://pcmlp.socleg.ox.ac.uk/sites/pcmlp.socleg.ox.ac.uk/files/Introduction_to_Neogeography.pdf>.
- 302 TYNER, J. A. Principles of map design. New York: Guilford Press, 2010. ISBN 978-1-60623-544-7.
- 303 USEPA Draft guidance on the development, evaluation, and application of regulatory environmental models. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 2003.
- 304 VAN DER WEL, F. J., VAN DER GAAG, L. C., GORTE, B. G. Visual exploration of uncertainty in remote-sensing classification. Computers & Geosciences, 1998, 24(4), 335-343.
- 305 VAN ELZAKKER, C. Needs for use, user & usability research in geo-information science and cartography. In. Department of Geoinformatics, Palacký University in Olomouc. , 2013.
- 306 VEREGIN, H. Data quality measurement and assessment. NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, 1998, 1-10.
- 307 VEVERKA, B., ZIMOVÁ, R. Topografická a tematická kartografie. Praha: České vysoké učení technické, stavební fakulta, 2008. ISBN 978-80-01-04157-4.
- 308 VIARD, T., CAUMON, G., LÉVY, B. Adjacent versus coincident representations of geospatial uncertainty: Which promote better decisions? Computers & Geosciences, 2011, 37(4), 511-520.

-
- 309 VICENTE-SERRANO, S. M., SAZ-SANCHEZ, M. A., CUADRAT, J. M. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, Jul 28 2003, 24(2), 161-180.
- 310 VOŽENÍLEK, V. *Aplikovaná kartografie I.: tematické mapy*. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 1999. ISBN 978-80-7067-971-5.
- 311 VOŽENÍLEK, V. *Aplikovaná kartografie I.: tematické mapy*. Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, 2004. ISBN 0-244-0270-X.
- 312 VOŽENÍLEK, V. *Cartography for GIS: geovisualization and map communication*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2005. ISBN 978-80-244-1047-0.
- 313 VOŽENÍLEK, V., KAŇOK, J., et. al. *Metody tematické kartografie: vizualizace prostorových jevů*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra geoinformatiky, 2011. ISBN 978-80-244-2790-4.
- 314 VRETANOS, P. A. *Web Feature Service Implementation Specification*. 2005. Open Geospatial Consortium Inc.
- 315 VULLINGS, L., BLOK, C., WESSELS, C., et al. Dealing with the Uncertainty of Having Incomplete Sources of Geo-Information in Spatial Planning. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 2013, 1-21.
- 316 VULLINGS, L. A. E., WESSELS, C. G. A. M., BULENS, J. D. Fuzziness to reduce uncertainty. In *Proceedings of the 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Leibniz Universität Hannover, Germany, 2009.
- 317 WAINER, H. *Picturing the uncertain world: how to understand, communicate, and control uncertainty through graphical display*. Princeton: Princeton University Press, 2009. ISBN 978-0-691-13759-9.
- 318 WARE, C.: *Information visualization perception for design* [online]. San Francisco, CA Morgan Kaufman, 2004, [cit. Dostupné na WWW: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nle&db=nlabk&AN=114168>>].
- 319 WARE, C. *Information visualization perception for design*, third edition. Waltham, Mass.: Morgan Kaufmann, 2013. ISBN 978-0-12-381464-7.
- 320 WATKINS, E. T. *Improving the analyst and decision-maker's perspective through uncertainty visualization*. 2000. Diplomová práce. Air University. Department of Systems and Engineering Management.
- 321 WEBER, C. R., BUTTENFIELD, B. P. A cartographic animation of average yearly surface temperatures for the 48 contiguous United States: 1897-1986. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1993, 20(3), 141-150.
- 322 WECHSLER, S. P. Digital Elevation Model (DEM) uncertainty: evaluation and effect on topographic parameters. In *Proceedings of the ESRI User Conference*, San Diego, 1999.
- 323 WEICK, K. E. *Making sense of the organization*. Oxford; Malden, MA: Blackwell Business, 2001. ISBN 978-0-631-22319-1.
- 324 WELLMANN, J. F., REGENAUER-LIEB, K. Uncertainties have a meaning: Information entropy as a quality measure for 3-D geological models. *Tectonophysics*, 2012, 526, 207-216.
- 325 WENG, Q. Quantifying uncertainty of digital elevation models derived from topographic maps. *Advances in spatial data handling*, 2002, 403-418.
- 326 WILKINSON, L. *The grammar of graphics*. New York: Springer, 1999. ISBN 978-0-387-98774-3.
- 327 WILLMOTT, C. J. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1982, 63(11), 1309-1313.
- 328 WILSON, J. P. G. J. C. *Terrain analysis: principles and applications*. New York: Wiley, 2000. ISBN 978-0-471-32188-0.
- 329 WILTSCHKO, T., KAUFMANN, T. Report on quality frame for information. 2004. EURORoads project.
- 330 WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. *Hydrological processes*, 2000, 14(11-12), 1909-1929.
- 331 WITTENBRINK, C. M., PANG, A. T., LODHA, S. K. Glyphs for visualizing uncertainty in vector fields. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, 1996, 2(3), 266-279.
- 332 WONG, P. C., SHEN, H.-W., JOHNSON, C. R., et al. The top 10 challenges in extreme-scale visual analytics. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 2012, 32(4), 63-67.
-

-
- 333 WOOD, J. The geomorphological characterisation of digital elevation models. Leicester, 1996. Disertační práce. University of Leicester.
- 334 WOOD, M., BRODLIE, K. ViSC and GIS: some fundamental considerations. In H.M. HEARNshaw, D. UNWIN eds. Visualization in geographical information systems. Chichester: John Wiley and Sons, 1994, s. ISBN 978-1-85293-283-1.
- 335 YANG, J. S., WANG, Y. Q., AUGUST, P. V. Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity. *Journal of Environmental Informatics*, Sep 2004, 4(1), 37-44.
- 336 ZADEH, L. A. K. G. J. Y. B. Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems : selected papers. Singapore: World Scientific, 1996. ISBN 978-981-02-2422-6.
- 337 ZEHNER, B., WATANABE, N., KOLDITZ, O. Visualization of gridded scalar data with uncertainty in geosciences. *Computers & Geosciences*, 2010, 36(10), 1268-1275.
- 338 ZHANG, J., GOODCHILD, M. F. Uncertainty in geographical information. New York: CRC press, 2002. ISBN 0-415-24334-3.
- 339 ZHAO, J., FORER, P., HARVEY, A. S. Activities, ringmaps and geovisualization of large human movement fields. *Information Visualization*, 2008, 7(3-4), 198-209.
- 340 ZUK, T., CARPENDALE, S. Theoretical analysis of uncertainty visualizations. In *Proceedings of the Electronic Imaging 2006, International Society for Optics and Photonics*, 2006, 606007-606007-606014.
- 341 ZUK, T. D. Visualizing uncertainty. Calgary, Alberta, 2008. Disertační práce. University of Calgary. DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE.
- 342 ZWART, P. Some indicators to measure the impact of land information systems in decision making. In *Proceedings of the 1991 URISA Conference Proceedings*, 1991.

SUMMARY

Any decision can only be as good as the quality of the information above which it is decided. If we are talking about real environmental data, including simulated data, the uncertainty is an undeniable part of everyday life. Uncertainty arises from the essence of natural processes and their variability. That is why the subsequent modelling and visualizations of these processes cannot be made without a certain degree of approximation. Cartographers deal with the problem of displaying uncertainty for a very long time. In most cases, the uncertainty in the process of cartographic processing is ignored mainly due to the assumption that the user will not be able to perceive map limitations caused by this very abstraction. Maps are usually considered as an imaginary pillar of objectivity and truth, which results in a sense of confidence of all users of these maps. For maps showing the earth's surface, which are very general, positional error almost does not play any role in real life. Thus for many applications is acceptable to use the map with a large number of hidden uncertainty. Equally for effective communication it is rather necessary. However, a problem arises when others professionals using these cartographic works as a basis for their decision support begin to be interested in the results of these analyses. Then the uncertainty contained in the map gets to the forefront and makes crucial information.

The main aim of the dissertation thesis is to evaluate the basic concepts for the visualization of spatial data uncertainty, identification of problems associated with them and extension of the framework for the visualization of spatial data quality. Each of the individual sub-concepts has been systematically explored in terms of quality components for spatial data quality, quality standards of spatial data and visualization techniques to design improved visualization concept of uncertainty.

The sub-aims of the work is to give a definition of uncertainty in environmental studies especially with regard to the quality of spatial data, analysis and standardization of individual components of spatial data quality, study and analysis of factors influencing the perception of visual information from maps containing uncertainty, research of existing approaches of visualizing uncertainty with an emphasis on environmental studies and finally analysis of uncertainty visualization methods used in environmental studies and determination of their specific attributes. The proposal of objective uncertainty visualization solutions for case studies was made with an emphasis on visualization techniques. Moreover, the testing of intuitiveness of the proposed methods was realised for a specific case study.

Visualization of uncertainty of spatial data includes a wide range of issues relating to data quality of the individual components, their definition, nature, database design, graphic methods, selection and implementation, dynamic monitoring and description of the error propagation in GIS operations, and many more. It follows that it is necessary to explore, extend and integrate existing research in uncertainty visualization of spatial data in environmental studies, particularly in the Czech Republic, where the topic was not developed so much. More precisely there are only a few departments which have been interested in this field more in detail.

The application part of the thesis concerning the application of specific visualization techniques in the case studies tries to capture the extensiveness of the studied issue. The analysis of different aspects and components of data quality, which influence the resulting

representation, is developed in the case studies. The specific visualization techniques reflecting nature of the visualized uncertainty is always designed within this section. At the same time the appropriateness of its use is discussed. Because of the limited generalizability of the results in application of only a small number of case studies, the various topics related to various areas have been selected.

In the first section of the theoretical part of the dissertation thesis is largely defined notion of uncertainty, with an emphasis on environmental studies. In the same part there is also described in detail the issue of data quality as a variable which is used for visualization of uncertainty in spatial data. The necessary concepts and relationships as well as the data and information containing geographical or spatial aspects are defined too. The principals of uncertainty visualization are discussed individually with emphasis on basic theories that have major impact on shaping the contemporary concept of uncertainty visualization. The attention is focused primarily on issues related to communication models, cognition, perception and semiotics. It is emphasized the need to perform research not only in particular visualizations, but also to carry out research which develops specific framework and concepts of visualization of spatial data quality. On the basis of obtained findings and results the widen framework of uncertainty visualization is proposed. This framework is able to reflect the various hierarchical natures of spatial data and integrate the various parameters of quality of environmental data in the case studies as a basis for visualization. Specific visualization techniques have been studied mainly with regard to the construction requirements and their ability to correctly transmit the information to end users has been evaluated too.

To verify the findings, a number of case studies was realised – e.g. visualization of stable areas in urban planning, visualization of uncertainty in digital elevations models, visualization of ecotones, visualization of land cover changes in mining area and uncertainty visualization of meteorological data in example of interpolation of average temperatures. In each study there is an analysis of individual components of data quality as well as a description of a method for calculating the uncertainty of a selected element. Chosen quality element is visualized so as the reader would be able to understand the visualization and to incorporate it into his decision-making process afterwards. The point of all case studies is to visualize the uncertainty. The verification of the acquired information was performed by testing the intuitiveness of the proposed methods for a particular case study. The testing was realised with the use of eye-tracking technology.

The dissertation thesis proposes some new requirements on visualization methods for environmental studies. For an uncertainty visualisation in the context of specific environmental studies are used new approaches. The result of the thesis is a concept for the visualization of spatial data quality, which is applicable while dealing with other studies.