

PETR KUBÍČEK, ČENĚK ŠAŠINKA, ZDENĚK STACHOŇ

VYBRANÉ KOGNITIVNÍ ASPEKTY VIZUALIZACE POLOHOVÉ NEJISTOTY V GEOGRAFICKÝCH DATECH

KUBÍČEK, P., ŠAŠINKA, Č., STACHOŇ, Z. (2014): Selected Cognitive Issues of Positional Uncertainty in Geographical Data. *Geografie*, 119, No. 1, pp. 67–90. – In accordance with the development of theoretical aspects of cartographic visualization and methods of uncertainty propagation in models, the generally accepted opinion argues that uncertainty has to be presented to users in an unambiguous and understandable way. Studies published in psychological literature prove that users react to presented information differently depending on the presentation method, the specific task and its context. The presented paper describes the process of test development for selected methods of cartographic visualization of positional uncertainty, the utilization of multivariate testing software tool for test processing, and its consequent evaluation. Results of testing are further discussed in comparison with similar studies which have been published.

KEY WORDS: positional uncertainty – cartographic visualization – cognitive processing – empirical evaluation.

Tato práce byla podpořena z projektu „Zaměstnáním nejlepších mladých vědců k rozvoji mezinárodní spolupráce“ (CZ.1.07/2.3.00/30.0037), který je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

1. Úvod

Existující i nově vznikající geografická data obsahují kromě polohové a tematické informace také informaci o jejich kvalitě (spolehlivosti), která může mít základ v různých krocích jejich vzniku, uložení, aktualizace apod. Problematika kvality geoprostorových dat a s ní související vyjádření nejistoty je zmíněna také směrnicí INSPIRE, která pro jednotlivé datové sady definuje prvky kvality. Zavádění této směrnice do národních legislativ zvýší zájem o zmíněnou problematiku. Lze tedy očekávat, že stále více základních i tematických datových sad souvisejících se životním prostředím bude popsáno metadaty obsahujícími vybrané prvky kvality, se kterými bude možné následně pracovat při vizualizaci. Z toho důvodu nabývá na aktuálnosti otázka vizualizace nejistoty.

V souladu s rozvojem teoretických aspektů kartografické vizualizace a metod šíření nejistoty v modelech je obecně přijímán názor, že nejistotu je třeba prezentovat uživatelům takovým způsobem, který je jednoznačný a pochopitelný. Proto byla vytvořena řada přístupů a metod vizualizace nejistoty vycházející například z Bertinovy teorie grafických proměnných a kombinujících statické i dynamické prvky vizualizace (Bertin 1973). Vizualizace nejistoty vychází v řadě případů z jazykové koncepce mapy (Pravda 1993, 2003). Přes dílčí úspěchy a existující konceptuální přístupy k vizualizaci nejistoty je poměrně málo

známo o konkrétním vlivu určité vizualizace na koncové uživatele, respektive o schopnosti těchto uživatelů s vizualizací efektivně a jednoznačně pracovat.

Nejistota v geografických datech byla předmětem výzkumu od 80. let (např. Moellering, ed. 1988, Beard, Buttenfield, Clapham. 1991). Výzkumy z poslední doby se zaměřují spíše na výzkum vlivu vyjádření nejistoty geografických na jejich pochopení a tím ovlivnění rozhodovacích procesů (např. Hope, Hunter 2007).

Studie z psychologické literatury dokládají, že uživatelé preferují rozličně prezentované informace v závislosti například na konkrétní úloze, kontextu nebo zkušenosti s danou doménou a zároveň, že způsob zobrazení informace ovlivňuje interpretaci jevu a rozhodování jedince (více například Chi, Feltovich, Glaser 1981; Cox 1999; Zhang 1997; Kleinmuntz, Schkade 1993; Ghani a kol. 2009).

2. Nejistota v geografických datech

Výraz „nejistota“ je obecně používán v geografické literatuře (Slocum a kol. 2005) k popsání potenciálních variací (změn) v hodnotách atributů a prostoroového umístění. S tímto obecným popisem pak souvisí také základní typy nejistoty, a to nejistota tematická (atributová) a polohová, alternativně přidávají někteří autoři také nejistotu časovou. Terminologický přístup však není jednotný a v praxi se lze setkat s alternativními výklady. Thomson a kol. (2005) uvádí širší definici nejistoty jako přítomnost určité nedokonalosti ve znalosti uživatele o datové sadě, procesu nebo výsledku. Řada odlišných definic a chápání nejistoty má za následek více pokusů o formalizaci a typologii pro odlišně vnímané typy nejistoty. Z toho plyne také řada přístupů a pokusů vytvořit základní komponenty nejistoty geografických dat a závislost těchto komponent na vizualizaci informací a jejich nejistoty. Definice jednotlivých typů nejistoty přehledně uvádí Shi (2010).

Problematikou existence a propagace nejistoty v geografických datech a její následnou vizualizací se zabývala řada autorů (Burrough, Frank, eds. 1996; Pang 2001; Zhang, Goodchild 2002; MacEachren a kol. 2005; Konečný 2011). Celou oblast vizualizace nejistoty lze rozdělit do několika oblastí od teoretického konceptu nejistoty v geografických datech, přes nástroje vizualizace, až po systém hodnocení efektivity vizualizace na uživatele (Kubiček 2011).

2.1. Polohová nejistota

Specifickým typem nejistoty je nejistota polohová, kterou lze určit na základě rozdílu mezi měřenou polohou geografického prvku a její „skutečnou“ hodnotou v reálném světě. V důsledku poměrně nedokonalého poznání reálného světa a nedokonalosti měřících technologií, je polohová nejistota přítomna prakticky u všech geografických prvků. Polohová nejistota tak významně ovlivňuje spolehlivost výsledků a analýz a v konečném důsledku také rozhodnutí založených na podpoře kartografických výstupů.

V případech vizualizace polohové nejistoty se nejčastěji mluví o možnosti využití obalových zón s šířkou odpovídající hranicím nejistoty pro daný prvek

(srovnej Shi 2010; Hope, Hunter 2007). Existuje mnoho dalších kartografických možností, jak vizualizovat případnou polohovou nejistotu (Hunter, Qui, Goodchild 1999; Pang 2001; Shi 2010), avšak poměrně málo je známo o jejich skutečné efektivitě, praktickém přínosu a schopnosti uživatelů jim intuitivně rozumět. Problematikou nejistoty v oblasti katastru nemovitostí se zabýval například Tuladhar (1996), který zdůraznil hlavní oblasti katastru ovlivněné nejistotou, a to zejména hranice parcel, vlastnictví pozemku a jeho odvozená ekonomická hodnota.

Z výše uvedených důvodů řada autorů (Buttenfield 1993; MacEachren, Kraak 2001) zdůraznila nutnost testování různých vizualizací nejistoty, a to jak z hlediska pochopení dané vizuální reprezentace uživatelem, tak z pohledu toho, jak vizualizace nejistoty skutečně ovlivňuje rozhodování uživatelů.

3. Kognitivní výzkum v kartografii

Prostorové informace zobrazované v mapách napomáhají snadnějšímu rozhodování v různých situacích. Porozumění kognitivním procesům a principům, které jsou angažovány na straně uživatele při jejich zpracování, je základním předpokladem pro efektivní způsoby vizualizace. Vede dále ke zvýšení srozumitelnosti komunikované informace a tedy její dostupnosti. Vhodné způsoby zobrazování mohou zároveň pomoci i nezkušeným uživatelům začít využívat prostorové informace, geografické informační systémy a zkušeným uživatelům zvýšit efektivitu užití jmenovaných technologií. Z praktického pohledu je tedy studium kognice v geografii a kartografii motivováno snahou zlepšit použitelnost, efektivitu a výtěžnost široké škály geografických informací.

Významná oblast kognitivních studií souvisejících s kartografickou vizualizací se zaměřuje na otázku, jak efektivní jsou současné způsoby vyjádření kvality či nejistoty, a to jak z pohledu statické, tak dynamické vizualizace geografických dat (Aerts, Clarke, Keuper 2003; Evans 1997; Yao, Jiang 2005; Staněk a kol. 2010). Avšak základní otázka, jak by měli uživatelé využít informace o nejistotě či jak je skutečně využívají k rozhodování, zůstává prozatím nezodpovězena a je často geografickou komunitou přehlížena (srovnej MacEachren a kol. 2005, Monmonier 2006, Montello 2009).

Klíčovým pojmem v oblasti psychologie je vnímání, které definujeme jako proces získávání, identifikace, výběru, organizování a interpretace senzorických dat a které vede k reprezentaci prostředí. Proces zpracování (nejen) prostorových informací lze členit rovněž na dílčí fáze: čítí, vnímání, kognice a metakognice. Toto členění je ovšem pouze ilustrativní a jednotlivé procesy jsou vzájemně provázány. Čítí je primární fází zpracování fyzikálních signálů z prostředí receptory a jejich transformací do nervových impulzů. Vnímání (percepce) se již např. v kontextu kartografie vztahuje spíše k fázi identifikaci grafické entity na mapě a kognice již odpovídá rovině jejímu porozumění dané reprezentaci respektive interpretaci předkládané situace. Metakognice potom hraje roli jednak na straně tvůrce mapy, který musí zvážit její budoucí užití a kognitivní předpoklady a zkušenost uživatelů, ale rovněž i na straně uživatele, který i v závislosti na charakteru mapy může volit různá strategie řešení problému.

Z kartografických výzkumů orientovaných na kognitivní aspekty při práci s mapou můžeme zmínit práce Bluestein a Acredolo (1979) zaměřenou na dětské uživatele nebo práci Allen, Cowan, Power (2006) zabývající se mapami počasí. Přesto existuje pouze málo prací zaměřených konkrétně na problematiku vizualizaci nejistoty. Řada autorů zabývajících s vizuální analýzou (Johnson a kol. 2006, Andrienko a kol. 2011) upozornila na fakt, že další rozvoj vizuálních metod je úzce spjat se studiem podstaty, variability, omezení a vlivu vizualizace na lidskou kognici v širším slova smyslu. Výzkum vhodnosti a účelnosti vizuálních reprezentací a nástrojů je tedy vhodné založit na známých kognitivních teoriích, dlouhodobých empiricky ověřených principech kartografické tvorby a v neposlední řadě na odpovídajících empirických studiích vizuálních reprezentací geoinformací (geografických dat). Fabrikant a Lobben (2009) editovaly zvláštní číslo časopisu *Cartographica* s cílem představit současné empirické výzkumné metody a nástroje používané v interdisciplinárním kartografickém výzkumu. Jejich společné úsilí vyústilo později v založení nové komise ICA „Commission on Cognitive Visualization“, která v současnosti zastřešuje hlavní aktivity v oblasti kartografické kognice.

3.1. Aplikační možnosti vizualizace polohové nejistoty

Současný popis kvality (jakosti) geografických dat, který je součástí nařízení směrnice INSPIRE (2009) není jednoduché využít ani v případě zkušených uživatelů (Řezník 2013). Pro uživatele bez zkušenosti s uvedenou problematikou jsou takovéto informace prakticky nečitelné. Existují ovšem alternativní možnosti, jak kvalitu geografických dat sdělovat vizuální cestou.

Na základě zkušeností získaných při testování možností transformace katastrálních dat vznikl na ČÚZK projekt mapy znázorňující vizuálně odlišně kvalitu jednotlivých katastrálních hranic (Souček, Bartoš 2011). V samotné datové specifikaci směrnice INSPIRE je doporučeno, aby polohová nejistota byla pro zastavěné městské oblasti maximálně 1 metr a pro oblasti venkovské a zemědělské maximálně 2,5 metru (INSPIRE Datová specifikace „Katastrální parcely“ 2009). V českém případě byly hranice parcel pro zjednodušení rozděleny na 2 typy (přesné / méně přesné). Pro potřeby INSPIRE se pak těmto hranicím přiřadí střední chyba, která vychází z přesnosti vstupních bodů, přesnosti transformace a přesnosti případného rozdělení kružnic na linie. Poslední jmenovaná chyba přitom souvisí s odlišným datovým modelem stávajícího katastru, který využívá více základních geometrických prvků a mezi nimi i oblouky, které je nutné při převodu do specifikace INSPIRE nahradit lomenými liniemi kopírujícími co nejvěrněji daný oblouk.

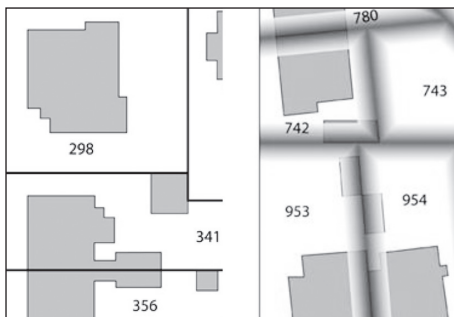
Takovýto přístup k vizualizaci katastrálních hranic v závislosti na jejich kvalitě přímo souvisí s vizualizací nejistoty a v konkrétním případě také s případnou schopností uživatelů dat katastru s takto odlišně zobrazenou informací efektivně pracovat.

3.2. Použitý výzkumný nástroj

K formalizaci kartografických znalostí je potřeba provádět empirický výzkumu v podobě řízených rozhovorů nebo analýzy textů, což je ve většině případů únavná a časově náročná práce. Při analýze současného stavu dostupných technologických řešení (srovnej Robinson 2011) se nepodařilo nalézt takové, které by nabízely možnost jak testování kartografických podkladů, tak psychologických (kognitivních) aspektů. Z toho důvodu byl na pracovišti autorů vytvořen prototyp webového interaktivního nástroje (MUTEP), který poskytuje možnosti testování celé škály kartografických vstupů od izolovaných mapových znaků, přes ucelené sady znaků až po komplexní mapové kompozice, a to jak statické, tak interaktivní. Koncepte nástroje vychází z předpokladu nutnosti provádění rozsáhlých testů, které musí být přístupné přes jednoduché rozhraní v prostředí internetu. Jednotlivé testy jsou ukládány do databáze a jsou složeny z úloh a obrazovek. Každá úloha v realizované experimentální baterii obsahuje nejméně jednu obrazovku a maximálně tři obrazovky v sekvenci – zadání, výběr, provedení. Každá obrazovka je založena na XML šabloně nabízející variantní řešení pro daný kontext. V rámci testu lze zaznamenávat jak správnost odpovědí, tak reakční časy či případnou přesnost kresby. Nespornou výhodou je přístup k jednotlivým testům v prostředí internetu (za předpokladu splnění základních technických parametrů počítače, například rozlišení obrazovky), kdy odpadá nutnost instalace programu na jednotlivé počítače a lze současně provádět více testů. Technologické detaily testovacího prostředí jsou dále popsány v publikaci Šašinka a kol. (2011) či Šašinka, Morong (2012).

4. Experiment 1

V práci Kubíček (2011) byl popsán vstupní experiment s polohovou nejistotou, který koncepčně vycházel z práce Hope a Hunter (2007). V rámci statického testu byly ověřovány dva vybrané typy kartografické vizualizace polohové nejistoty a jejich vliv na rozhodování testovaných uživatelů. Na základě výše uvedeného návrhu v souvislosti se směrnicí INSPIRE byla vybrána „tradiční“ vizualizace pomocí plné linie doplněná textovou informací o rozsahu polohové nejistoty (označení „hranice“). Jako variantní byla zvolena graficky navádějící vizualizace, kde informace o nejistotě je vyjádřena pomocí barevného přechodu hranice (dále označeno „přechod“) viz obrázek 1. Relativní výhodou tohoto typu vizualizace je grafické vymezení rozsahu nejistoty přímo v mapovém poli pomocí klesající sytosti barvy od hranice směrem do parcel na obou jejích stranách. Pro každý jednotlivý typ vizualizace byla vytvořena vizualizace



Obr. 1 – Příklad vizualizace „hranice“ (vlevo) a „přechod“ (vpravo)

znázorňující 2 sousední parcely (A a B) a v nich zobrazený zakres budovy, jejíž roh postupně ležel:

- jistě v parcele A
- spíše v parcele A
- stejně v parcele A i v parcele B
- spíše v parcele B
- jistě v parcele B.

Pořadí A–E bylo náhodně stanoveno a nejdříve byla testována vizualizace „přechod“ a následně „hranice“. Testování variantní statické reprezentace polohové nejistoty mělo za úkol zkoumat, jak testované subjekty chápou danou formu reprezentace, jak rychle jsou schopny se s ní vypořádat a případně zda existují nějaké preference vzhledem k použité formě reprezentace.

Pro hodnocení vizuálního vlivu vybraných typů kartografické reprezentace jsme postupovali v souladu s terminologií použitou v práci Garlandini, Fabrikant (2009) a hodnotili jsme zejména vhodnost (angl. *efficiency*) reprezentace a dále její účelnost (angl. *effectiveness*). Zatímco vhodnost je posuzována pomocí rychlosti, se kterou se uživatelé rozhodují, účelnost úzce souvisí se správností rozhodnutí.

Z hlediska správnosti odpovědí vykazují největší shodu odpovědi v mezních hodnotách (očekávané odpovědi A, respektive E) a dále odpověď C (předpokládá se umístění na hranici parcel). Menší shodu pak vykazují obě nejisté odpovědi (B, respektive D). Vůbec nejnižší shodu pak vykazuje právě odpověď B (spíše v parcele A).

Porovnání reakčních časů uživatelů ukázalo, že ve většině případů respondenti potřebovali k označení odpovědi více času v případě vizualizace „přechod“ než v případě vizualizace „hranice“. Čas potřebný k nalezení (správné) odpovědi byl pro vizualizace „přechod“ téměř dvojnásobný.

Dosažené procento správnosti odpovědí 92 %, které bylo shodné pro obě varianty vizualizace, indikovalo fakt, že testované subjekty byly schopny pochopit informaci reprezentovanou s nejistotou a také se správně rozhodnout. Významnou roli sehrál efekt zácviku – po seznámení se s konkrétním typem vizualizace jsou následující rozhodnutí činěna s narůstající rychlostí. Pro detailní popis experimentu a srovnání s původním statickým testem Hope a Hunter (2007) odkazujeme na původní publikaci Kubíček (2011).

5. Experiment II

Na základě výsledků prvního testu vizualizace polohové nejistoty bylo možné konstatovat, že kartografická vizualizace polohové nejistoty v geografických datech ovlivňuje rozhodování jedinců. Test přinesl řadu poznatků, které bylo nutné zohlednit při sestavování dalších testovacích sad – jedná se zejména o odstranění efektu zácviku a potenciální testování většího množství alternativních vizualizací. Z tohoto důvodu byla realizována další fáze testování polohové nejistoty s cílem potvrdit závěry prvního testu a doplnit původní statické testování o dynamickou složku (srovnej Hope, Hunter 2007).

5.1. Vstupní hypotéza

Při vymezení obou typů vizualizace lze v souladu s prvním experimentem očekávat odlišné procesy zpracování informací. Procesy zpracování informací lze zjednodušeně dělit do několika úrovní počínaje čítím, přes percepci, kognici až po metakognici. Při vizualizace „přechod“ probíhá zpracování informací již zřejmě na úrovni percepcie, protože je k dispozici spojení z vizuálních senzoryckých orgánů, které podává informaci, zda se roh budovy nachází uvnitř či vně zóny nejistoty. Vizualizace přechod jako forma zobrazení tedy potenciálně více zatěžuje senzorycký systém, ale explicitně vyjadřuje informaci o šíři nejisté hranice. Avšak samotné rozpoznání (tedy zjištění, zda úloha odpovídá zadání) by měla být jednodušší. U vizualizace hranice se proces zpracování posunuje až na úroveň metakognice, kdy je nutné provést mentální procesy ke zjištění správnosti odpovědi (mentální uchopení měřítko, jeho rotace a odměření vzdálenosti rohu budovy). Základní senzorycká zátěž je menší, avšak uživatelé jsou nuceni provádět další mentální operaci a rozhodnout se, zda bod náleží/nenáleží do určité plochy odpovídající popisu úlohy.

5.2. Sestavení testu

V návaznosti na zkušenosti z prvního testu byly do průběhu testu zařazeny cvičné úlohy pro všechny typy vizualizace s cílem omezit efekt zácvičku. Testované osoby mají před počátkem „ostrého“ testu možnost se seznámit jak s předmětnou problematikou (samotné principy a teoretické pozadí vizualizace nejistoty), tak s jednotlivými metodami vizualizace. Modifikován byl také způsob sestavení a provedení testu, a to ze statického na dynamický – interaktivní. Jednotlivé úlohy byly konstruovány tak, že účastníci testu byli nuceni aktivně zakreslit linii končící v definovaných částech parcely. Samotné zadání úlohy bylo popsáno následovně: Nakreslete lomenou čáru tak, aby byla ukončena co nejbližše hranici parcel, ale zároveň splňovala jednu z níže uvedených podmínek.

Čára je ukončena:

- jistě (na 100 %) v parcele A
- spíše (na >50 %) v parcele A
- stejně jistě (na 50 %) v parcele A či v parcele B
- spíše (na >50 %) v parcele B
- jistě (na 100 %) v parcele B.

Následovala sada cvičných úloh, které nejdříve obrazově dokumentovaly jednotlivé úlohy, a potom účastníkům bylo umožněno tyto úlohy prakticky vyzkoušet. Kromě samotné vizualizace nejistoty v reálných podmínkách byla změněna i grafická náplň mapy. Pro jednotlivé případy byly na rozdíl od prvního testu zvoleny reálné úkazy parcelní kresby z katastrálního území Prahy, kterým byly pozměněny katastrální čísla pro zachování anonymity. Všechny vystavené scény tak navozovaly dojem skutečné katastrální mapy zahrnující zjednodušenou parcelní kresbu, parcelní číslo a obrysy budov v případě základní ho pozadí a navíc také barvu a texturu podle využití v případě komplexního pozadí.

Testovací mapové podklady se následně pravidelně střídaly v typu vizualizace – tedy všechny liché (1, 3, 5, 7, 9) byly reprezentovány typem vizualizace

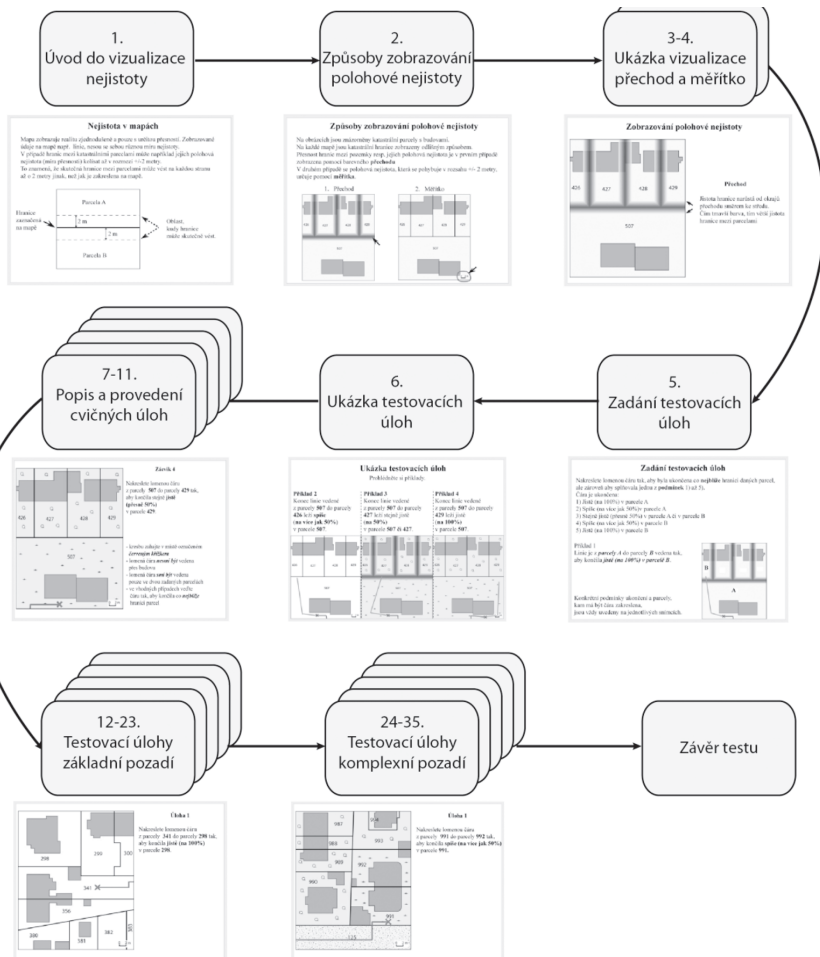
„hranice“ a všechny sudé (2, 4, 6, 8, 10) pak typem vizualizace „přechod“. Nejdříve byly testovány vizualizace pro jednoduchou podkladovou kresbu, které zahrnovala pouze katastrální hranice, budovy podbarvené hnědou barvou a parcelní čísla. Následně byla změněna podkladová mapa a na jednotlivé parcely byla přidána textura v podobě barevné výplně a značky vyjadřující druh využití dané plochy.

5.3. Rozšířená vstupní hypotéza

Kromě výše uvedených kognitivních předpokladů, které souvisí s odlišnou percepční zátěží sensorického systému pro oba typy vizualizace zóny nejistoty, byly v tomto testu doplněny další úlohy. Jedná se o oblast problematiky figura–pozadí, kdy byl inspirací mj. experiment realizovaný v práci Chua, Boland, Nisbett (2005). Samotná hranice se zónami nejistoty zde může fungovat jako figura a tematický podklad potom představuje pozadí. Naší snahou bylo posoudit vliv alternativních podkladů (pozadí mapy) na schopnost rozpoznat již známou figuru. Tedy v našem případě stejně vizualizovanou hranici na novém tematickém podkladu (v našem případě typ pozemku). Haaken (1988) představuje v historické perspektivě psychologický konstrukt kognitivního stylu závislost resp. nezávislost na poli, který měl významný dopad nejen na směřování výzkumu v psychologii, ale rozvířil i diskusi o genderových rozdílech (srovnej Voyer, Voyer, Bryden 1995; Fritz, Stewart, Norwood 2002). Witkin (1950), který je autor zmíněného konstruktů, dospěl experimentální cestou ke zjištění, že existují interindividuální (rovněž i genderové) rozdíly ve způsobu vnímání a myšlení, které postihují mj. schopnost jedince vyčleňovat figuru z pozadí, resp. že jedinci odlišných kognitivních stylů jsou v různé míře ovlivněny kontextem scény. Na základě empirických zjištění (např. Fritz 1994) a související teorie, kdy jsou ženy v porovnání s muži považovány za více závislé na poli, jsme stanovili hypotézu o genderových rozdílech ve zpracování informací o polohové nejistotě.

5.4. Účastníci testu

Testování proběhlo v rámci akce „Noc vědců“ v září 2011 a účastníci experimentu byli dobrovolníci, kteří projevíli zájem o problematiku kartografické vizualizace. Skupina byla doplněna studenty prvního ročníku studia Geografie Pedagogické fakulty MÚ. Celkem se testu zúčastnilo 84 osob ve věku od 15 do 60 let. Část respondentů byla vyřazena z důvodu nadměrné chybovosti v testu, která nasvědčovala celkovému nepochopení administrovaných úloh. Rovněž část respondentů z „Noci vědců“ byla vyřazena v případě, že byly v průběhu sběru dat zaznamenány rušivé vlivy. Nakonec bylo do statistických analýz zahrnuto pouze 56 testovacích sad, resp. respondentů (29 mužů a 27 žen). Pro zachování maximální objektivnosti byly osoby testovány ve skupinách, kdy počátky testu byly od sebe vzdáleny 30 minut tak, aby se jednotlivé skupiny vzájemně nerušily a byly tak dodrženy srovnatelné podmínky testu. U každého účastníka byly zjišťovány také osobní charakteristiky, které umožnily dále



Obr. 2 – Ukázka principu sestavení testu polohové nejistoty s alternativními mapovými podklady

členit získané výsledky. Jednalo se především o věk, pohlaví, dosažené vzdělání, četnost práce na počítači a četnost a zkušenosti práce s mapou. Uvedené osobní charakteristiky dále sloužily k vytvoření skupin a zjištění skupinových rozdílů. Do zpracování nebyly zahrnuty všechny sledované charakteristiky, a to zejména z důvodu nedostatečné reprezentativnosti některých skupin. Struktura testové baterie je ilustrována na obrázku 2.

5.5. Výsledky testu

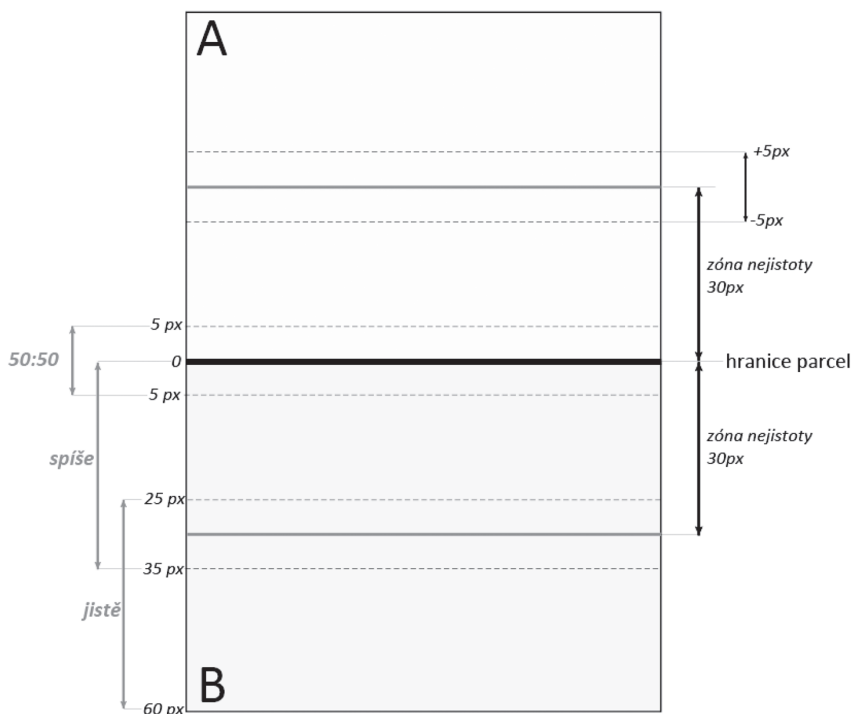
Vzhledem k rozsahu a pestrosti budou výsledky v dalším komentovány podle jednotlivých kritérií. Komentář je podán pouze pro ty výsledky, které vykázaly určitý trend a poskytly možnost srovnání.

5.5.1. Metoda hodnocení přesnosti

Hodnocení přesnosti není v testech prováděných jinými autory obvykle řešeno. V našem případě bylo nezbytné přijmout jednotnou metodiku vzhledem k případnému opakování experimentu a jeho následnému vyhodnocení.

Protože experiment probíhal plně v elektronickém prostředí, byl za jednotku přesnosti a měření zvolen pixel, který je zachován i při potenciálně odlišných rozlišeních obrazovky, na níž test probíhá. Minimální rozlišení obrazovky zaručující viditelnost celého testovacího úkolu bylo 1280×1024 pixelů. Hranice byla vždy zaznačena silou jednoho pixelu a na obou jejích stranách byly předpokládány nejisté zóny o rozsahu 30 pixelů na každou stranu (viz obr. 3). Při zákresu linie byla hranice vždy v hodnotě 0, linie ukončené před hranicí měly tedy koncový bod v záporných souřadnicích, zatímco linie nad hranicí měly koncové body v kladných souřadnicích. Pro všechny předpokládané případy zákresu byly následně vytvořeny zóny, ve kterých byly koncové body kresby považovány za správné:

- Pro umístění na hranici (stejně A i B, 50 % na 50 %) byla vytýčen přechodná zóna v rozsahu 5 pixelů na obě strany hranice.
- Pro umístění v parcelě A respektive B (jistě A, jistě B, 100 % A, 100 % B) pak zóna -60 až -25, respektive +25 až +60 (parcela neměla větší rozsah než 60 pixelů).



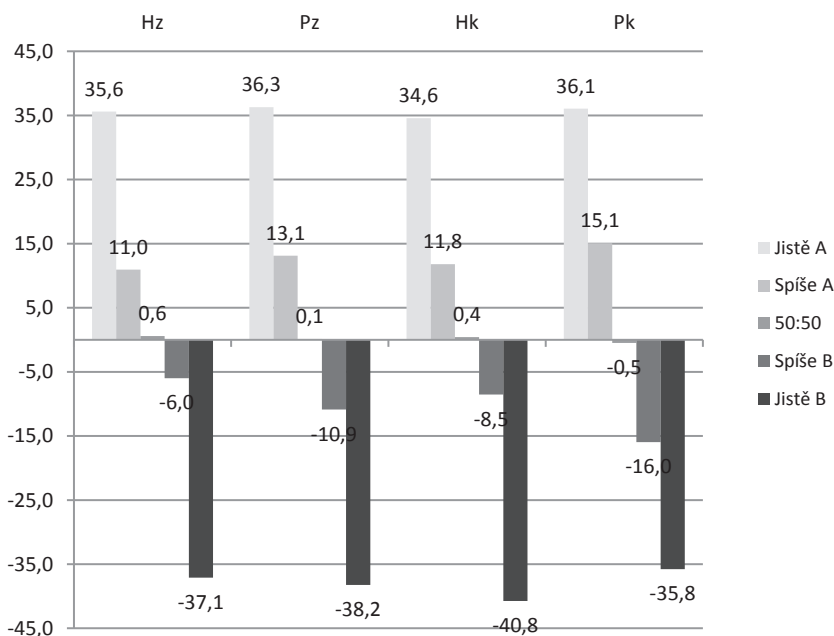
Obr. 3 – Způsob vyhodnocení správnosti odpovědí pro jednotlivé zóny při vizualizaci polohové nejistoty

– Pro umístění v přechodné zóně (spíše A, spíše B, na více než 50 % A respektive B) byla vytvořena zóna -35 až 0 , respektive 0 až $+35$.

Pro všechny zóny tak existovala tolerance ± 5 pixelů, která zohledňovala jak velikost kurzoru, tak případnou nepřesnost grafiky. Ukázalo se, že pro případ stejně A i B (50:50) – kde jsou obě vizualizace stejně graficky navádějící – dosáhla většina úspěšných účastníků přesnosti v rozsahu 3 pixely a nikdo se nedostal na kritickou hranici 5 pixelů. Uvedený způsob vyhodnocení je obdobně skupiny testů ojedinělý a na analogovém (papírovém) podkladě pouze obtížně proveditelný. Výsledky navíc umožňují nejenom zařadit výsledek podle správnosti, ale také měřit jeho přesnost, a tak vyhodnotit celkové chování účastníků testu při jednotlivých úlohách (viz vyhodnocení z hlediska přesnosti).

5.5.2. Vyhodnocení z hlediska přesnosti

Do vyhodnocení rozdílů v přesnosti ukončení vedených linií byly začleněny pouze správné odpovědi u jednotlivých úloh. Z výsledných grafů průměrných vzdáleností od osy je zřejmé (obr. 4), že mezi jednotlivými typy vizualizace existují rozdíly a lze vyvodit jednoznačný závěr. V případě vizualizace „přechod“ měli účastníci testu při ukončování v zónách „spíše A, spíše B“ tendenci končit linii blíže fyzicky vyznačené hranici nejistoty. Pro potvrzení této hypotézy jsme provedli testování významnosti rozdílů přesnosti mezi oběma metodami vizualizace jak na základním pozadí, tak na komplexním. Bylo potvrzeno, že pro



Obr. 4 – Vyhodnocení přesnosti (v pixelech) pro jednotlivé úlohy a typy pozadí. Hz – vizualizace hranice, základní pozadí; Pz – vizualizace přechod, základní pozadí; Hk – vizualizace hranice, komplexní pozadí; Pk – vizualizace přechod, komplexní pozadí.

Tab. 1 – Rozdíly v přesnosti zakončení linie – srovnání výkonů mezi vizualizací hranice a přechod za použití Mann-Whitneyova U – testu (tučně jsou statisticky významné rozdíly)

	Sčet poř. (hranice)	Sčet poř. (přechod)	U	Z	p-hodn.	N platn. (hranice)	N platn. (přechod)
Jistě A – zákl.	1 221	1 860	626	-1,224	0,221	34	44
Jistě B – zákl.	881	1 969	581	-0,346	0,729	24	51
<i>Spíše A – zákl.</i>	<i>2 217,5</i>	<i>3 242,5</i>	<i>891,5</i>	<i>-2,988</i>	<i>0,003</i>	<i>51</i>	<i>53</i>
<i>Spíše B – zákl.</i>	<i>3 030</i>	<i>1 341</i>	<i>561</i>	<i>3,827</i>	<i>0,000</i>	<i>54</i>	<i>39</i>
stejně A i B – zákl.	2 100	2 751	1 110	-0,554	0,579	44	54
Jistě A – komp.	2 115	2 163	987	0,535	0,592	44	48
Jistě B – komp.	1 849	2 522	859	-1,681	0,093	44	49
<i>Spíše A – komp.</i>	<i>2 385,5</i>	<i>3 285,5</i>	<i>954,5</i>	<i>-2,840</i>	<i>0,005</i>	<i>53</i>	<i>53</i>
<i>Spíše B – komp.</i>	<i>3 813,5</i>	<i>2 181,5</i>	<i>641,5</i>	<i>5,109</i>	<i>0,000</i>	<i>54</i>	<i>55</i>
stejně A i B – komp.	2 660	3 011	1 175	-1,444	0,148722	54	52

obě přechodné zóny s nejistotou (spíše A, spíše B) existují statisticky významné rozdíly v přesnosti (viz tab. 1) a pro vizualizaci hranice převládá tendence uživatelů zakončit taženou linií blíže k viditelné středové linii. Pro zbývající typy úloh (jistě A i B, 50 : 50) nebyly v závislosti na typu vizualizace a při užití Mann-Whitneyho U testu zjištěny žádné signifikantní rozdíly.

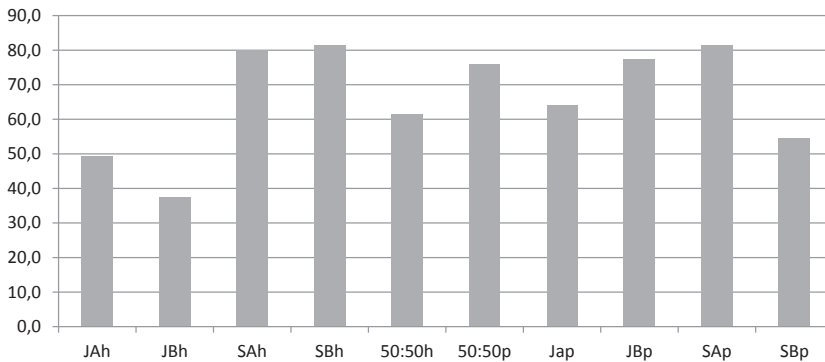
5.5.3. Vyhodnocení správnosti odpovědí – účelnost vizualizace

Správnost respektive chybovost odpovědí byla vyhodnocena podle toho, zda se účastníkům testu podařilo zakončit kreslenou linií v zóně, která odpovídala zadání. Pro srozumitelnost dalšího textu je potřeba uvést, že parcela, z níž byla linie tažena, je zjednodušeně označena písmenem A a parcela, do které linie směřuje, je pro zjednodušení označena písmenem B. Největší chybovost (a tudíž nejmenší počet správných odpovědí) prokázaly jak u základního, tak u komplexního pozadí úlohy, kdy uživatelé měli ukončit linií jistě v parcele B (37 % pro základní pozadí) či parcele A (49 % pro základní pozadí) a byla užitá vizualizace hranice. Naopak nejvíce správných odpovědí připadá na úlohy spíše A a spíše B, a to opět pro oba typy pozadí (obr. 5, 6).

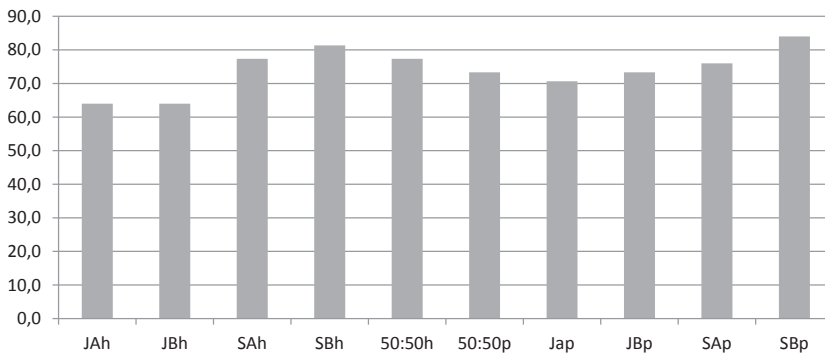
Z výsledků lze usuzovat, že účastníci testu měli tendenci více riskovat v případech, kdy nebyla k dispozici žádná vizuální pomůcka pro určení hranice – tedy tehdy, kdy pro vizualizaci „hranice“ museli sami určit, kde končí jistá a začíná nejistá zóna (rozhraní jistě B a spíše B, případně spíše A a jistě A). Aktivní ukončení linie v přechodných zónách („spíše“) se ukázalo jako snazší.

5.5.4. Vyhodnocení výkonů v závislosti na pohlaví

Při zkoumání rozdílů mezi skupinou mužů a žen v úlohách na mapách byly do analýz začleněny tři typy výkonů. Za prvé byly zjišťovány rozdíly mezi muži a ženami v přesnosti resp. místě ukončování vedených linií v případě správných odpovědí, a to s ohledem na metodu vizualizace (přechod či hranice). Za druhé



Obr. 5 – Procentuální vyhodnocení správných odpovědí pro základní pozadí. JB – jistě B, SB – spíše B, JA – jistě A, SA – spíše A, 50:50 stejné A i B, h – vizualizace hranice, p – vizualizace přechod.



Obr. 6 – Procentuální vyhodnocení správných odpovědí pro komplexní pozadí. JB – jistě B, SB – spíše B, JA – jistě A, SA – spíše A, 50:50 stejné A i B, h – vizualizace hranice, p – vizualizace přechod.

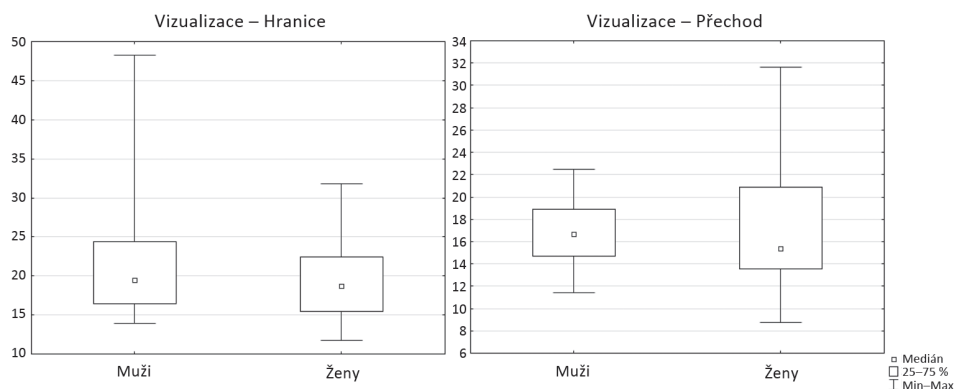
byly zjišťovány rozdíly v rychlosti řešení rovněž pouze v případě správných odpovědí s ohledem na metodu vizualizace. A konečně do třetice byl zjišťován vliv míry komplexnosti pozadí na rychlost řešení úlohy bez ohledu na jeho správnost.

Srovnání přesnosti v závislosti na pohlaví bylo testováno pro každou položku zvláště, jelikož je test složený z odlišných typů položek a není proto vhodné položky společně průměrovat. Do statistické analýzy byly zahrnuty pouze odpovědi, které splňovaly požadavek správnosti. Vstupní hypotéza vycházela z předběžných výsledků získaných v předchozím experimentu a předpokládala, že nejsou významné rozdíly mezi muži a ženami. Při užití Mann-Whitneyova U testu bylo porovnáno celkově 20 položek, přičemž pouze v položce s vizualizací přechod „jistě B“ na komplexním pozadí byl zjištěn významný rozdíl ($p = 0,021$). Muži končili linii hlouběji v parcele B nežli ženy. Žádné jiné byt statisticky nevýznamné trendy nebyly detekovány.

Obdobným způsobem bylo postupováno v případě porovnávání rychlosti při řešení úkolů mezi muži a ženami. Byl znovu užit Mann-Whitneyův U test pro

Tab. 2 – Srovnání průměrných časů mezi muži a ženami u metody vizualizace hranice a přechod za použití Mann-Whitneyova U testu

	Sčet poř. (muži)	Sčet poř. (ženy)	U	Z	p-hodn.	N platn. (muži)	N platn. (ženy)
Hranice (čas)	925	671	293	1,607	0,108	29	27
Přechod (čas)	987	609	231	2,624	0,009	29	27



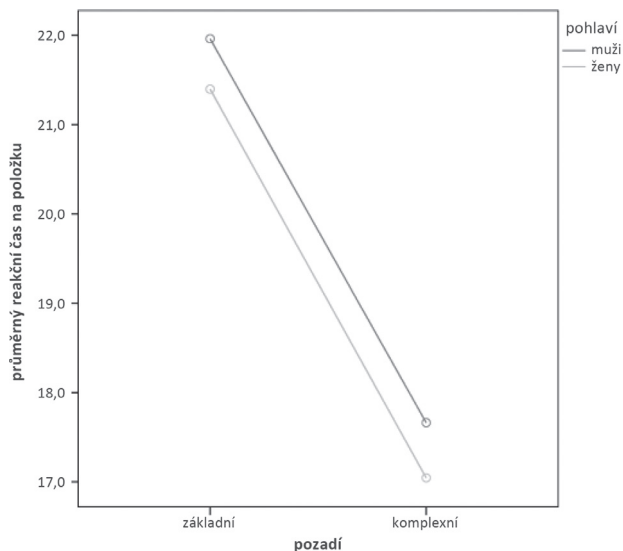
Obr. 7 – Srovnání průměrných časů mezi muži a ženami u metody vizualizace hranice a přechod

srovnání doby řešení u 20 položek. Mezi muži a ženami nebyly nalezen žádný statisticky významný rozdíl, i přesto, že ženy více položek vyřešily rychleji. Následně byly položky seskupeny podle typu vizualizace a při užití Mann-Whitneyova U testu porovnány celkové průměry. V obou případech dosáhly ženy nižších časů, v případě vizualizace přechod byl tento rozdíl statisticky významný (viz tab. 2 a obr. 7).

Uvažované rozdíly mezi skupinou mužů a žen ve schopnosti pracovat s komplexním podnětovým materiálem (pozadím) relativně ke schopnosti pracovat s jednoduchým pozadím byly ověřovány pomocí Mann-Whitney U testu. U téže pokusné osoby byl porovnáván čas nutný pro zpracování úloh v subtestu na základním pozadí se subtestem na komplexním pozadí. Do analýzy byly zařazeny časy (i chybných odpovědí) potřebné pro řešení daných úloh resp. průměrný čas na položku pro zmíněné typy pozadí (viz obr. 8). V subtestu s jednoduchým pozadím potřebovali muži v průměru pro řešení jedné položky 22 sekund

Tab. 3 – Srovnání mužů a žen resp. rozdílů jejich výkonů mezi subtestem na jednoduchém a subtestem na komplexním pozadí za použití Mann-Whitneyova U testu

	Sčet poř. (muži)	Sčet poř. (ženy)	U	Z	p-hodn.	N platn. (muži)	N platn. (ženy)
Muži vs. ženy: rozdíl mezi základním a komplexním pozadím	778	818	343	-0,787	0,431	29	27



Obr. 8 – Výkon v úlohách v závislosti na interakci mezi typem pozadí a pohlavím

(SD = 6,1) a ženy 21,4 sekund (SD = 4,7). V subtestu s komplexním pozadím řešili muži v průměru jednu položku 17,7 sekund (SD = 3,7), ženy 17,1 sekund (SD = 4,3). Jak muži, tak ženy zvládli v průměru položku ve druhém subtestu o více, jak čtyři sekundy rychleji při srovnání míry jejich zlepšení respektive změny výkonu nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl (viz tab. 3).

5.5.5. Vyhodnocení z hlediska rychlosti řešení – vhodnost vizualizace

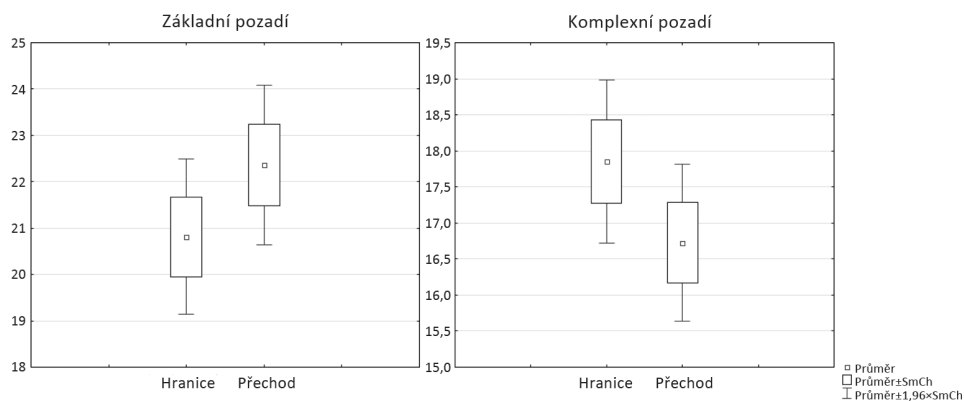
Pro jednotlivé úlohy bylo dále provedeno testování významnosti rozdílů pomocí nepárového U testu s cílem zjistit vliv odlišných metod vizualizací na výkon resp. rychlost řešení účastníků experimentu. Na úrovni jednotlivých párů úloh, tedy při srovnání komplementárních párů úloh u metody hranice a přechod, vykazují dosažené časy protichůdné tendence. Nutno poznamenat, že byl pozorován silný efekt zácviku a tedy obecně byla patrná tendence, kdy byly později prezentované položky řešeny rychleji. Detailní přehled jednotlivých výsledků uvádí Kubíček (2012).

Zároveň bylo provedeno srovnání průměrných časů pouze správných odpovědí pomocí Wilcoxonova párového testu (viz tab. 4). Byly tedy porovnány průměrné časy na položku nutné pro vyřešení všech úloh při užití metody hranice resp. metody přechod, a to samostatně jak na jednoduchém, tak komplexním pozadí.

V případě jednoduchého pozadí dosáhli respondenti při práci s metodou hranice průměrného času na položku 20,8 sekund (SD = 6,4), pro řešení úlohy u metody přechod potřebovali v průměru 22,4 sekund (SD = 4,2). V případě komplexního pozadí byl zaznamenán právě opačný trend, kdy respondenti vyřešili úlohy u metody hranice za 17,9 sekund (SD = 4,3), řešení u metody přechod trvalo v průměru 16,8 sekund (SD = 4,2).

Tab. 4 – Srovnání doby řešení u vizualizací hranice a přechod na základním a komplexním pozadí

Pozadí	Počet (platných)	T	Z	p-hodn.
Základní pozadí – hranice vs. přechod	56	417	3,108	0,002
Komplexní pozadí – hranice vs. přechod	56	443	2,896	0,004



Obr. 9 – Srovnání průměrných reakčních časů (s) na položku u vizualizací hranice a přechod na základním (vlevo) a komplexním pozadí (vpravo)

5.6. Diskuze výsledků a závěry

5.6.1. Diskuze výsledků Hope a Hunter (2007)

Pro přehlednost je nutné stručně shrnout výsledky a diskuzi výsledků práce Hope a Hunter (2007, s. 654). Údaje o přesnosti rozhodování autoři porovnávali ve vztahu k jednotlivým vizualizacím, pořadí úlohy, pohlaví a zkušenosti respondentů. Výsledky nebyly významné pro pohlaví ani pro zkušenost uživatelů, avšak významné rozdíly byly zjištěny pro pořadí úlohy a jednotlivé typy vizualizace. Pro první případ je jednoznačně konstatován efekt zácviku a postupného učení úlohy v průběhu testu. Je tomu tak zejména proto, že respondenti neměli žádnou možnost se s rozdílnými vizualizacemi seznámit dopředu. V případě rozdílných vizualizací byla významnost rozdílu na úrovni $p < 0,001$, což znamená, že reakce účastníků testu na různé typy vizualizace hranic byly významně odlišné. Oba typy vizualizace použité v našem testu (hranice a přechod) dosahovaly z pohledu přesnosti podobné výsledky a vzhledem k oběma zbývajícím vizualizacím se pohybovaly uprostřed. Další tři typy vizualizace neměly žádnou viditelnou hranici nejistoty (ačkoliv pro vizualizaci přechod je to sporné), takže testované subjekty měly tendenci se více přiblížit k hranici. Test bohužel neposuzoval žádnou z úloh ve smyslu rychlosti, protože nebylo možné v průběhu testování měřit přesně časy. Z hlediska osobních preferencí skončila jako nejméně preferovaná právě vizualizace „hranice“, těsně následovaná vizualizací

„přechod“. Dalším potvrzeným závěrem je velký efektu zácviků, který efektivně lze omezit pouze opakovaným testováním dané skupiny osob.

5.6.2. Srovnání dynamické části testování

Bylo provedeno několik typů analýz získaných dat, které byly zaměřeny na různé aspekty sledovaného problému. Byly zjišťovány rozdíly ve správnosti, přesnosti i rychlosti řešení a to s ohledem jak na typ vizualizace, tak na případné efekty způsobené typem pozadí a rozdíly mezi skupinou mužů a žen. Analýzy byly prováděny jak na jednotlivých položkách, tak i ve vhodných případech na agregovaných hodnotách z dílčích subtestů resp. celkových časů alternativních variant vizualizací. Nutno podotknout, že agregovaná data bylo možné použít pouze v případě „časů řešení“, jelikož samotná metrika „přesnost“ měla ve všech třech typech úkolů odlišný význam.

Srovnání správnosti byla procentuálně uváděna a vizualizována na obrázku 5 a 6. Z grafů je patrné, že nejvyšší chybovost byla zjištěna v typu úlohy „jistě A“ a „jistě B“ u metody vizualizace hranice. Domníváme se, že tato chybovost mohla být způsobena absencí viditelné hranice a tedy referenční linie, kterou by respondent užil při rozhodování.

Testování jednotlivých úloh z hlediska přesnosti pro oba typy vizualizací pak přineslo následující výsledky:

- Pro úlohu 50 : 50 nejsou významné rozdíly, pouze u vizualizace „přechod“ byla naznačena tendence ukončovat linii celkově dříve resp. blíže parcele A.
- Pro úlohy „jistě A“ a „jistě B“ nejsou významné rozdíly. Ve třech ze čtyř případů byla ovšem naznačena tendence ukončovat linii při vizualizaci „přechod“ hlouběji v koncové parcele, tedy dále od fyzické hranice parcel.
- Pro úlohy „spíše A“ a „spíše B“ byly zjištěny signifikantní rozdíly. Jak tedy pro vizualizaci „spíše A“, tak pro úlohu „spíše B“ a to jak na základním, tak na komplexním pozadí.

Lze konstatovat, že pro úlohu „jistě“, která nejlépe odpovídá původnímu zadání Hope a Hunter (2007) byly naznačeny pouze nevýznamné rozdíly ve výkonech pro oba typy vizualizace. Ovšem v případě úlohy „spíše A“ a „spíše B“ byl jednoznačně potvrzen vliv přítomnosti fyzické hranice zóny nejistoty ve vizualizaci na rozhodování uživatelů.

Velká pozornost byla věnována srovnání výkonů mezi muži a ženami, a to v různých ohledech. Při srovnávání výkonů mužů a žen byla zjištěna tendence k delším reakčním časům u mužů, což podporuje původní názor Lloyda a Bunche (2005), že pro prostorové úlohy přesahující jednoduché percepční typy dosahují muži delších reakčních časů. Rozdíly ve prospěch žen byly zjištěny, jak u agregovaných dat v případě vizualizace „přechod“, tak „hranice“. Rozdíly byly ale signifikantní pouze v případě úloh na vizualizaci přechod. Rovněž srovnání jednotlivých položek neprokázalo žádné statisticky významné rozdíly. Statistické rozdíly nebyly zaznamenány rovněž ani v případě analýz položek v kontextu přesnosti výkonu. Pouze v jedné položce „jistě B“ vedli muži linii hlouběji do parcely. V tomto případě se ale nejednalo o chybné řešení a vysvětlení fenoménu by bylo možné získat nejspíše pouze zevrubnou analýzou konkrétní položky resp. užití mapy. Oproti předpokladu nebyl zjištěn ani žádný vliv míry

komplexnosti pozadí na výkon u žen. Ženy nebyly zvýšenou kognitivní zátěží v případě více graficky zaplněné mapy nijak ovlivněny.

Při porovnání výkonů na odlišných pozadích z hlediska průměrného času potřebného k úspěšnému splnění úlohy vychází významně lépe komplexní pozadí, přičemž uvedené tvrzení platí pro oba typy vizualizace. Tento výsledek lze ale přičíst efektu zácviku, jelikož subtest na komplexním pozadí byl administrován až jako druhý. Při srovnání rychlosti při práci s alternativními metodami vizualizace docházíme k protichůdným zjištěním. Zatímco v první části na základním pozadí byly výsledky signifikantně lepší v případě metody hranice, ve druhé části již respondenti pracovali rychleji s metodou „přechod“. Získané protichůdné zjištění vedou k úvaze, zda nebyl efekt zapříčiněn malou zkušeností respondentů s metodou vizualizace „přechod“, oproti běžněji užívané metodě „hranice“. Ve druhém subtestu již mohli uplatnit svou nově nabitou zkušenost, což by mohlo být vysvětlením celkového zlepšení výkonu u této metody.

6. Závěr

Prezentované metody kartografické vizualizace polohové nejistoty ve spojení s vyvíjeným testovacím prostředím přinesly výsledky srovnatelné s dalšími výzkumy a potvrdily nutnost dalšího základního výzkumu v dané oblasti. Lze konstatovat, že kartografická vizualizace nejistoty v geografických datech ovlivňují rozhodování jedinců jak z hlediska rychlosti, tak z pohledu správnosti rozhodnutí.

Účelnost vizualizace pro vymezení oblasti nejistoty byla prokázána lepší pro vizualizaci přechod. Vyšší účelnost uvedeného typu vizualizace se prokázala zejména pro úlohy požadující ukončení kresby jistě v jedné z parcel. Uvedená skutečnost je v souladu se závěry Kunz (2011), která poukázala na vztah vhodnosti určitého typu vizualizace nejistoty a účelu vizualizace (vizuální zdůraznění, případně potlačení nejistých oblastí). Pro porovnání vhodnosti vizualizace byly brány v úvahu pouze správné odpovědi. U statického testu byla jako vhodnější vyhodnocena vizualizace hranice. U dynamického testu nejsou výsledky jednoznačné.

Příspěvek považujeme za vstup do rozsáhlejší problematiky kartografické vizualizace nejistoty, kterou je potřeba zkoumat v celé šíři, od koncepčního pojetí nejistoty v geografických datech, přes zkoumání možností její vizualizace až po testování vybraných aspektů vizualizace pro konkrétní úlohy. V případě testování je nutné dorešit nežádoucí vliv efektu zácviku. Příspěvek poukazuje na důležitost dalšího zkoumání jak vizualizačních metod, tak rozsáhlejšího statistického vzorku, které mohou vyústit v souborné doporučení metod a jejich preferencí pro určité typy geografických dat. V souladu se závěry řady autorů (Hope, Hunter 2007; Monmonier 2006; MacEachren a kol. 2005) je třeba zdůraznit, že metody kartografické vizualizace je potřeba testovat v procesu rozhodování, abychom mohli zhodnotit jejich skutečný přínos.

Uvedený kvantitativní přístup k provádění testů lze následně vhodně kombinovat s kvalitativním pozorováním, jaký je například sledování pohybů očí (Popelka, Brychtová, Voženílek 2012; Garlandini, Fabrikant 2009).

Poděkování patří Mgr. Lucii Friedmannové, Ph.D. za přípravu podkladů.

Literatura:

- AERTS, J. C. J. H., CLARKE, K. C., KEUPER, A. D. (2003): Testing popular visualization techniques for representing model uncertainty. *Cartography and Geographic Information Science* 30, č. 3, s. 249–261.
- ALLEN, G. L., COWAN, C. R. M., POWER, H. (2006): Acquiring information from simple weather maps: Influences of domain-specific knowledge and general visual-spatial abilities. *Learning and Individual Differences*, 16, č. 4, s. 337–349.
- ANDRIENKO, G., ANDRIENKO, N., KEIM, D., MACEACHREN, A. M., WROBEL, S. (2011): Challenging problems of geospatial visual analytics. *Journal of Visual Languages and Computing*, 22, s. 251–256.
- BEARD, K. M., BUTTENFIELD, B. P., CLAPHAM, S. B., (1991): Visualization of Spatial Data Quality: Scientific Report for the Specialist Meeting, NCGIA Technical Paper 91–26, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), Castine, Maine.
- BERTIN, J. (1973): *Sémiologie graphique*. 2. vydání, Paris, La Haye, 431 s.
- BLUESTEIN, N., ACREDOLO, L. (1979): Developmental Changes in Map-Reading Skills. *Child Development*, 50, č. 3, s. 691–697.
- BURROUGH, P. A., FRANK, A. U., eds. (1996): *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. Bristol, PA. Taylor and Francis Inc., 345 s.
- BUTTENFIELD, B. P. (1993): Representing spatial data quality. *Cartographica*, 30, č. 2/3, s. 1–7.
- CHI, M. T. H., FELTOVICH, P. J., GLASER, R. (1981): Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, č. 2, s. 121–152.
- CHUA, H. F., BOLAND, J. E., NISBETT, R. E. (2005): Cultural variation in eye movements during scene perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, č. 35, s. 12629–12633.
- COX, R. (1999): Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, č. 4, s. 343–363.
- DIRECTIVE 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:108:0001:0014:en:PDF>
- EVANS, B. J. (1997): Dynamic display of spatial data reliability: does it benefit the map user? *Computers and Geosciences* 23, č. 4, s. 409–422.
- FABRIKANT, S. I., LOBEN, A. (2009): Introduction: Cognitive Issues in Geographic Information Visualization. *Cartographica*, 44, č. 3, s. 139–143.
- FRITZ, R. L., STEWART, B., NORWOOD, M. (2002): A Comparison of Field-Dependence Cognitive Styles of Professionals in Purchasing and Consumer Service and Secondary Marketing Education Students, with Implications for Work force Development. *Journal of Career and Technical Education*, 18, č. 2, s. 66–78.
- FRITZ, R. L. (1994): Gender differences in field-dependence and educational style. *The Journal of Vocational Education Research*, 19, č. 1, s. 1–21.
- GARLANDINI, S., FABRIKANT, S. I. (2009): Evaluating the Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization. In: Hornsby, K. S. et al. (eds.): *COSIT 2009, LNCS 5756*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, s. 195–211.
- GHANI, E., LASWAD, F., TOOLEY, S., JUSOFF, K. (2009): The Role of Presentation Format on Decision-makers' Behaviour in Accounting. *International Business Research*, 2, č. 1, s. 183–195.
- HAAKEN, J. (1988): Field dependence research: A historical analysis of a psychological construct. *Signs*, 13, č. 2, s. 311–330.
- HOPE, S., HUNTER, G. J. (2007): Testing the effects of positional uncertainty on spatial decision-making. *International Journal of Geographical Information Science* 21, č. 6, s. 645–665.
- HOSKOVA-MAYEROVA, S., TALHOFER, V., HOFMANN, A. (2010): "Mathematical Model Used in Decision-Making Process with Respect to the Reliability of Geo Database." *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 9, s. 1652–1657.

- HUNTER, G. J., QUI, J., GOODCHILD, M. F. (1999): Application of a New Model of Vector Data Uncertainty. In K. Lowell and A. Jaton, editors, *Spatial Accuracy Assessment: Land Information Uncertainty in Natural Resources*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press, s. 203–208.
- INSPIRE (2009): D2.8.I.6 INSPIRE Data Specification on Cadastral Parcels – Guidelines. http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_CP_v3.0.pdf.
- JOHNSON, C. R., MOORHEAD, R., MUNZNER, T., PFISTER, H., RHEINGANS, P., YOO, T. S. (2006): „NIH-NSF Visualization Research Challenges Report,” Note: <http://tab.computer.org/vgtc/vrc/index.html>, IEEE Press.
- KLEINMUNTZ, D. N., SCHKADE, D. A. (1993): Information displays and decision processes. *Psychological Science*, 4, č. 4, s. 221–227.
- KONEČNÝ, M. (2011): Cartography: Challenges and Potentials in Virtual Geographic Environments Era. *Annals of GIS, Honkong: Taylor & Francis*, 17, č. 3, s. 135–146.
- KUBÍČEK, P., (2011): Možnosti testování kartografické vizualizace polohové nejistoty. *Kartografické listy*, 19, č. 9, s. 88–96.
- KUBÍČEK, P., (2012): Vybrané aspekty vizualizace nejistoty geografických dat. Habilitační práce. Masarykova univerzita, Brno, 170 s.
- KUNZ, M. (2011): Interactive visualizations of natural hazards data and associated uncertainties. PhD Thesis, ETH Curych, 103 s.
- LLOYD, R. E., BUNCH, R. L. (2005): Individual Differences in Map Reading Spatial Abilities Using Perceptual and Memory Processes. *Cartography and Geographic Information Science*, 32, s. 33–46.
- MACEACHREN, A. M., KRAAK, M. J. (2001): Research challenges in geovisualisation. *Cartography and Geographic information Science*, 28, č. 1, s. 3–12.
- MACEACHREN, A., ROBINSON, A., HOPPER, S., GARDNER, S., MURRAY, R., GAHEGAN, M., HETZLER, E. (2005): Visualising geospatial information uncertainty. What we know and what we need to know. *Cartography and Geographic Information Science*, 32, č. 3, s. 139–160.
- MOELLERING, H., ed. (1988): The Proposed Standard for Digital Cartographic Data. *The American Cartographer* 15, č. 1.
- MONMONIER, M. (2006): Cartography: uncertainty, interventions, and dynamic display. *Progress in Human Geography*, 30, č. 3, s. 373–381.
- MONTELLO, D. R. (2009): Cognitive Research in GIScience: Recent Achievements and Future Prospects. *Geography Compass*, 3/5, s. 1824–1840.
- PANG, A. (2001): Visualizing uncertainty in geo-spatial data. In: *Proceedings of the Workshop on the Intersections between Geospatial Information and Information Technology*. Washington, D. C., National Academies Committee of the Computer Science and Telecommunications Board, s. 1–14.
- PANG, A., WITTENBRINK, T., LODHA, K. (1997): Approaches to uncertainty visualization. *Visual Computer*, 13, s. 370–390.
- POPELKA, S., BRYCHTOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2012): Eye-tracking a jeho využití při hodnocení map. *Geografický časopis, Geografický ústav SAV*, s. 71–87.
- PRAVDA, J. (1993): Jazyková koncepcia mapy, jej vývoj a súčasný stav. *Kartografické listy*, s. 27–36.
- PRAVDA, J. (2003): *Mapový jazyk. UK v Bratislavě, PrF UK, Bratislava*, 88 s.
- ROBINSON, A., (2011): Challenges and opportunities for web-based evaluation of the use of spatial technologies. *Proceeding of ICA conference, Paris*, 6 s.
- ŘEZNÍK, T. (2013): Geografická informace v době směrnice INSPIRE: nalezení, získání a využití dat pro geografický výzkum. *Geografie*, 118, č. 1, s. 77–93.
- SHI, W. 2010. *Principles of modelling uncertainties in spatial data and spatial analyses*. Boca Raton, London, New York, Taylor and Francis, 412 s.
- SLOCUM, T., MCMMASTER, R., KESSELER, F., HOWARD, H. (2005): *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. New Jersey Prentice Hall, 576 s.
- SOUČEK, P., BARTOŠ, J. (2011): Nový grafický klient v Nahlížení do katastru nemovitostí. In: Růžička, J., Pešková, K. (eds.): *Proceedings – Symposium GIS Ostrava 2011, Ostrava*, 5 s.

- STANĚK, K., FRIEDMANNOVÁ, L., KUBÍČEK P., KONEČNÝ M. (2010): Selected issues of cartographic communication optimization for emergency centers. *International Journal of Digital Earth*, 3, č. 4, s. 316–339.
- ŠAŠINKA, Č., MORONG, K. (2012): Původní výzkumný nástroj pro oblast kartografie a psychologie – Multivariátní Testovací program (MuTeP). In: Halama, P., Hanák, R., Masaryk, R.: *Sociálne procesy a osobnosť: Zborník príspevkov z 15. ročníka medzinárodnej konferencie*. Bratislava: Ústav experimentálnej psychológie, s. 188–194.
- ŠAŠINKA, Č., STACHOŇ, Z., ŠTĚRBA, Z., BREZINOVÁ, Š. (2011): Evaluace kartografických děl objektivními metodami v perspektivě osobnostních charakteristik uživatele. In: Konečný, M. (ed.): *dynamická geovizualizace v krizovém managementu*, MUNI Press, Brno, s. 288–317.
- THOMSON, J., HETZLER, B., MACEACHREN, A., GAHEGAN, M., PAVEL, M. (2005): Typology for visualizing uncertainty. In: *Visualization and Data Analysis*, 5669, s. 146–157.
- TULADHAR, A. M. (1996): Spatial cadastral boundary concepts and uncertainty in parcel-based information system. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXI, part B3, s. 890–893.
- VOYER, D., VOYER, S., BRYDEN, M. P. (1995): Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, č. 2, s. 250–270.
- WITKIN, H. A. (1950): Individual differences in ease of perception of embedded figures. *Journal of Personality*, 19, s. 1–15.
- YAO, X., JIANG, B. (2005): Visualization of qualitative locations in geographic information systems. *Cartography and Geographic Information Science*, 32, č. 4, s. 219–229.
- ZHANG, J. (1997): The nature of external representations in problem solving. *Cognitive Science*, 21, č. 2, s. 179–217.
- ZHANG, J., GOODCHILD, M. (2002): *Uncertainty in Geographical Information*. London, Taylor and Francis, 266 s.

S u m m a r y

SELECTED COGNITIVE ISSUES OF POSITIONAL UNCERTAINTY IN GEOGRAPHICAL DATA

The problem of uncertainty has been at the centre of both the cartographic and GI community since the beginning of the research of the geographic data quality. Moellering (1988) introduced a broader framework for the evaluation of data quality as defined by the Standard for Digital Cartographic Data Quality. The standard included measures of accuracy (positional and attribute accuracy), consistency, completeness, and lineage as important components of data quality. MacEachren et al. (2005) stated that most research directed toward the visualization of uncertainty had focused on the development of representation methods (Pang, Wittenbrink, Lodha 1997; Hengel et al. 2004), on software applications for the display of uncertainty (Heuvelink et al. 2006), or on developing the uncertainty visualization theory (Pang 2001; Thomson et al. 2005; Hošková-Mayerová, Talhofer, Hofmann 2010). Much less has been done on the empirical evaluation and testing of use and usability. Despite a reasonable amount of work having been done in the field of uncertainty visualization testing (Evans 1997; Leitner, Buttenfield 2000), there is still a wide gap between uncertainty visualization theory and the generally used and widely accepted use of uncertainty representation with known effects on users.

Only a limited number of studies exist which deal with uncertainty visualization in general, and positional uncertainty visualization and its cognitive issues in particular. Hope and Hunter (2007) examined how decisions may vary according to the nature of the representation of positional uncertainty, and assessed both the participants' understanding of and subjective preferences for alternative representations. Test results yielded strong evidence that the specific type of representation affects the participants' judgment and decisions.

Following the approach of Hope and Hunter (2007), the static test was performed in order to investigate the participants' comprehension of information portrayed in two different

representations of positional uncertainty (Boundary and Transition limits representation). Results of this test were presented and discussed in Kubicek (2011). The static part of the test proofed the testing environment and identified basic bottlenecks for further consideration. With these findings in mind, we prepared a second assessment – dynamic testing. Uncertainty representations used for dynamic testing were the same (Boundary and Transition limits) and the basic tasks were identical to the static test (Definitely in cadastral parcel A; Probably in parcel A; Equal chance of being in either parcel; Probably in parcel B; and Definitely in parcel B). The underlying cadastre data represented a real life situation from Prague. For the complex background, the situation was amended with colour and appropriate texture (Fig. 1). The order of tasks was random and differed for both backgrounds. The overall structure of the dynamic part of our test is illustrated in Figure 2.

We assume that both representations were informationally equivalent, but there will be differences between the static and dynamic tests because of different information processing components. While in the static test only search and recognition are performed, inference forms the main component of the dynamic test.

An interactive web-based testing tool (MuTeP) was designed and an early prototype developed. The tool was devised in order to test a wide variety of inputs from an isolated cartographic symbol or sets of symbols to complex map compositions, both static and interactive. A more detailed description of the tool can be found in Kubicek and Sasinka (2011). A web-based testing application was used, enabling parallel testing of heterogeneous user groups, automatic recording of test results, and semiautomatic processing of the final evaluation. The testing environment was comparable for all participants of the test.

All the tested persons were volunteers interested in cartography and geography. A total of 84 persons took part in the tests, but due to external environment problems and disturbances only 56 (29 males, 27 females) tests were comparable and fully relevant for further processing. The subjects were tested in separate groups (a maximum of 10 participants for each group) with 30minute intervals in order to avoid disturbances and maintain a comparable testing environment. Besides the uncertainty visualization, we also collected general personal data on all participants including age, gender, education level, computer skills, and map use experience.

Only correct answers (according to the above specified zones) were taken into account for accuracy assessment. Only minor differences existed in accuracy among the particular visualization methods and tasks, without a discernible significant trend (Mann-Whitney U test). However, for the Boundary visualization and task “Probably A, Probably B”, the test participants had a tendency to end the line closer to the existing (drawn) border. We analyzed the significance of this hypothesis and compared the differences in accuracy for both visualization methods and the “probably” task. It was confirmed that significant differences existed for both uncertain zones (Probably A, Probably B). In the case of the Boundary visualization, there was a tendency to finish drawing the line closer to the existing border (Tab. 1).

Only correct answers were taken into account for particular tasks and evaluated separately for male and female groups. The results can be divided into several findings – an overall accuracy of answers, time differences for distinctive visualizations (correct answers only), and the influence of background complexity on task completion time (all answers). Only one significantly different task (by the Mann-Whitney U test) was found for the line ending accuracy. This was the task “definitely B” on complex background and involving Transition limits depiction. No other trends were discovered in relation to the accuracy of answers.

In terms of the tasks completion time, women were quicker in making a decision in the case of the basic background, both in the global average and for the selected visualization. A similar situation was valid for the complex background where again the female group was quicker in its decision making. However, the results were statistically significant neither for the basic nor for the complex background. Women were again quicker when comparing visualization in general, regardless of the background, and this difference was even statistically significant in the case of the Transition limits depiction (Fig. 7 and Tab. 2).

The influence of background complexity was evaluated by a comparison of average completion times for both types of background. The female group was quicker with both types of background and surprisingly even more efficient in the case of the complex background

(Fig. 8). Thus, our assumption that the performance of the female group will be negatively influenced by background complexity, was not confirmed (Tab. 3).

While analyzing the influence of different representations, we evaluated correct answers and average completion times for the individual tasks.

The lowest overall correctness of answers pertains to the tasks definitely in A and definitely in B for both background types (basic and complex) and boundary depiction. Task definitely in B reached only 37% of correct answer for the basic background, task definitely in A achieved 49% for the same type of background. The highest number of correct answers belongs to the tasks probably A and probably B, regardless of the type of background.

Average completion times for particular tasks were compared for both visualizations (boundary and transition limits – Tab. 4). Test respondents performed better in Boundary visualization on the basic background but the results were contradictory for the complex background where transition limits visualization tasks exhibited shorter completion times (Fig. 9).

In order to summarize our results and generate generally valid propositions about the cognition of positional uncertainty visualization, we tried to compare them with the Hope and Hunter (2007) results. For the dynamic test, we chose the tasks performed on the basic background. This part of our test was most appropriate for comparison and discussion with the original Hope and Hunter (2007) test. Results for the particular tasks can be summarized as follows (Tab. 1 and Fig. 4):

- Equal chance of being in either parcel (50:50) task – no significant differences between representations, slightly better accuracy in the case of Transition limits.
- Definitely in parcel A and definitely in parcel B (100% A and 100% B) – no significant differences between representations. Probably A and Probably B (>50% A and >50% B) – significant difference for both Probably A ($p = 0,003$) and Probably B ($p = 0,00012$). Respondents had a tendency to finish the line closer to the border in the case of the Boundary representation.

The task “definitely” is in accordance with the original Hope and Hunter (2007) task description. Only insignificant differences for the selected representations were affirmed. Our results also confirmed the original assumption that the presence of a physical boundary line (in the case of probably A or B) strongly influences the decision taken.

A gap still exists between cartographic uncertainty visualization research and practical usage of uncertainty for decision-making. Studies in psychology reveal new knowledge about the human perception processes and should be combined with contemporary cartographic research in order to establish a broad interdisciplinary platform for map usability.

We believe that two main directions of research could be established in this domain. The first is a comparison of the usability and effectiveness of alternative visualizations methods, taking into consideration the personal characteristics of the users. The second one would be focused on a deeper understanding of the cognitive processes involved in map reading with respect to the particular methods of visualization. The first research direction would give us answers to the question as to which map would be better or more suitable for specific groups of users. The second direction would clarify the basic mechanisms and answer the question “why?”.

We also believe that procedural transparency of published findings should be emphasized in this kind of research, in order to enable replication of these experiments and to allow for a meta-analysis of thematically similar experiments.

Fig. 1 – An example of the visualisation of a “border” (left) and a “transition” (right).

Fig. 2 – The creation of the test of positional uncertainty with alternative map data.

Fig. 3 – The method of accuracy assessment for particular zones during the visualisation of positional uncertainty.

Fig. 4 – Accuracy assessment (in pixels) for particular tasks and types of background. Hz – boundary and basic background; Pz – transition limits and basic background; Hk – boundary and complex background; Pk – transition limits and complex background.

Fig. 5 – Correctness of answers (in %) for tasks involving the basic background. JB – definitely in parcel B, SB – probably in parcel B, JA – definitely in parcel A, SA – probably in

parcel A, 50:50 – Equal chance of being in either parcel; h – boundary visualization; p – transition limits visualization.

Fig. 6 – Correctness of answers (%) for complex background. JB – definitely in parcel B, SB – probably in parcel B, JA – definitely in parcel A, SA – probably in parcel A, 50:50 – Equal chance of being in either parcel; h – boundary visualization; p – transition limits visualization.

Fig. 7 – Comparison of average completion time (s) between men and women for boundary visualization (left) and transition limits visualization (right).

Fig. 8 – Success in the completion of tasks in relation to background complexity and gender. X axis– background (basic, complex), Y axis – average reaction time for a task.

Fig. 9 – Comparison of average completion time (s) between boundary visualization and transition limits visualization on basic (left) and complex background (right).

Pracoviště autorů: P. Kubíček, Z. Stachoň: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav, Kotlářská 2, 602 00 Brno; e-mail: kubicek@muni.cz, zstachon@geogr.muni.cz. Č. Šašínska: Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Psychologický ústav, Arna Nováka 1/1, 602 00 Brno; e-mail: 44276@mail.muni.cz.

Do redakce došlo 13. 2. 2013; do tisku bylo přijato 11. 2. 2014.

Citační vzor:

KUBÍČEK, P., ŠAŠÍNSKA, Č., STACHOŇ, Z. (2014): Vybrané kognitivní aspekty vizualizace polohové nejistoty v geografických datech. *Geografie*, 119, č. 1, s. 67–90.