

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Veronika OBADÁLKOVÁ

**HODNOCENÍ VLIVU BAREV
NA ČITELNOST DIGITÁLNÍCH MAP**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Alžběta Brychtová

Olomouc 2012

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Alžběty Brychtové.

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 21. května 2012

Děkuji vedoucí práce Mgr. Alžbětě Brychtové za odborné vedení, cenné rady a připomínky při tvorbě bakalářské práce. Dále děkuji Mgr. Michaele Tučkové za poskytnuté konzultace z matematické statistiky.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Veronika OBADÁLKOVÁ**
Osobní číslo: **R09298**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **Hodnocení vlivu barev na čitelnost digitálních map**
Zadávající katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je zhodnotit vliv použitých barev a barevných kombinací na čitelnost informací na digitálních mapách. Studentka provede podrobnou rešerši literatury věnující se problematice čitelnosti map z hlediska použitých barev, kartografických vyjadřovacích metod a parametrů grafických prvků v mapě. V praktické části práce studentka vybere několik ukázkových příkladů, na nichž představí vliv použité barvy na čitelnost mapy. Na konkrétních příkladech uplatní vybranou metodu studia použitelnosti, vyhodnotí její výsledky a vyvodí doporučení pro aplikaci barevných kombinací, tak aby informace v mapě byly čitelné a rozeznatelné. Studentka vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořila nebo získala v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci studentka vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle šablony dostupné na webových stránkách katedry. Na závěr bakalářské práce připojí studentka jednostránkové resumé v anglickém jazyce.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

KRAAK, Menno-Jan, ORMELING, Ferjan (2003): Cartography : Visualization of geospatial data. [s.l.] : [s.n.]. 167 s. ISBN 0-130-88890-7. KAŇOK, Jaromír (1999): Tematická kartografie. 1. vyd. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě. 320 s. ISBN 80-7042-781-7 SLOCUM, Terry, et al. Thematic cartography and geovisualization : Second edition. [s.l.] : [s.n.], c2005. 518 s. ISBN 0-13-0-35123-7. VOŽENÍLEK, Vít (1999): Aplikovaná kartografie I - tematické mapy. Olomouc, Vydavatelství UP, 178 s. VOŽENÍLEK, Vít (1999): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s.

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Alžběta Brychtová
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: 5. května 2011
Termín odevzdání bakalářské práce: 22. května 2012

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUČI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEONFORMATIKY
č. Svobody 26, 771 46 Olomouc
-1-

Prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 13. června 2010

OBSAH

ÚVOD	7
1 CÍLE PRÁCE	8
2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	9
2.1 Použitá data	9
2.2 Použité programy	9
2.3 Postup zpracování	9
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	12
4 BARVY V DIGITÁLNÍM PROSTŘEDÍ	13
4.1 Parametry barvy	13
4.2 Skládání barev a barevné modely	14
4.3 Psychologické působení barev na člověka	19
4.3.1 Optické barevné klamy	20
4.3.2 Vnímání barev	22
4.4 Barvy v mapách.....	23
4.4.1 Volba barev pro kvalitativní jevy	23
4.4.2 Volba barev pro kvantitativní jevy	24
4.4.3 Černobílé mapy	25
4.5 Barva a kontrast.....	26
4.6 Kartografické vyjadřovací metody	26
5 EYE-TRACKING	30
6 VLASTNÍ TESTOVÁNÍ	33
6.1 Výběr respondentů	33
6.2 Obsah a struktura experimentu.....	33
6.3 Hodnocení výsledků testování	36
6.3.1 Statistické hodnocení	36
6.3.2 Souhrnné hodnocení	49
7 VÝSLEDKY	51
8 DISKUZE	52
9 ZÁVĚR	54
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
SUMMARY	
PŘÍLOHY	

ÚVOD

Barva provází člověka od počátku jeho existence. Je důležitým faktorem v celé řadě lidských činností a hlavně jedním z nejdůležitějších vyjadřovacích prostředků mapy. Je součástí všech jejích prvků a plní informační i estetickou funkci. Správná volba barev zabezpečuje rychlou orientaci čtenáře a správný výklad informací, které má mapa uživatelům podat.

Pro výzkum uživatelské percepce, hodnocení a efektivnosti kartografických děl existuje řada přístupů. Mezi doposud málo využívané patří technologie eye-tracking, která je založena na principu sledování pohybu lidských očí při vnímání map a sledování časové dimenze práce s mapou (např. ze jakou dobu uživatel najde dané místo v mapě). Tím nám umožňuje nejen zhodnotit kvalitu, ale také odhalit případné nedostatky mapového díla a využít je při tvorbě nových kartografických děl tak, aby splňovaly požadavky uživatele.

Výsledky testů by měly podhalit vliv mezi barevnou vzdáleností a velikostí fontu na čitelnost a také vliv barevné vzdálenosti na typu kartografické vizualizace k čitelnosti mapového díla. Dále na základě výsledků analýzy pohybu očí je možné získat strategii čtení map, jak často uživatel využívá legendu, které barvy jsou uživatelům lépe čitelné a rozeznatelné, nebo také jakým způsobem získává uživatel informace z mapy.

Tyto poznatky byly využity při plánování a tvorbě bakalářské práce.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zhodnotit vliv použitých barev a barevných kombinací na čitelnost informací na digitálních mapách. Po nastudování potřebné literatury zabývající se problematikou čitelnosti map z hlediska použitých barev, kartografických vyjadřovacích metod a parametrů grafických prvků v mapě, bude proveden výběr vhodných barevných kombinací pro tvorbu map.

Praktickým výstupem práce bude testování, které se snaží zjistit, zda jsou předkládané ukázky vlivu použití barev na čitelnost map respondenty správně interpretovány a zda jsou schopni z nich získat požadované informace. Samotné testování bude prováděno na přístroji eye-tracking, kde se respondentům spustí vyhotovený test. Tento test se bude zaměřovat jak na kartografy (studenti 1.-5. ročníku oboru geoinformatika), tak i na studenty oborů s kartografií nesouvisejících. Výsledky získané testováním budou dále vyhodnoceny pomocí statistických metod a opatřeny komentářem. Na základě výsledků pak budou vysloveny závěry o vnímání barevných kombinací různými skupinami respondentů.

Dále budou vyplněny údaje o všech datových sadách, které byly vytvořeny nebo získány v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky. O bakalářské práci bude vytvořena webová stránka. Na závěr bakalářské práce bude připojeno jednostránkové resumé v anglickém jazyce.

2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Na začátku bakalářské práce bylo nutné podrobně nastudovat problematiku barev a její vliv na čitelnost digitálních map. Cílem práce bylo zjistit, zda jsou předkládané ukázky vlivu použití barev na čitelnost map respondenty správně interpretovány a zda jsou schopni z nich získat požadované informace.

2.1 Použitá data

Pro účely bakalářské práce byla použita výuková data z Katedry geoinformatiky, konkrétně datová sada USA, Evropy a ORP Olomouce ve formátu SHP, která byla upravena pro potřeby jednotlivých otázek.

2.2 Použité programy

Samotné digitální mapy pro testování byly vytvořeny v programu ArcGIS 10 od firmy Esri. Celý test byl upraven v programu SMI Experiment Center a spuštěn respondentům na monitoru se zařízením eye-tracker SMI RED 250 s vzorkovací frekvencí 120 Hz, kde přesná poloha oka byla tedy každých 8 ms.

Tvorba výstupů se odehrála v programu SMI BeGaze, který obsahuje velké množství nástrojů pro vizualizaci a analýzu pořízených dat. Pro závěrečné statistické výpočty byl použit open source program R. A pro tvorbu webových stránek o bakalářské práci byl použit freeware program PSPad 4.5.4.

2.3 Postup zpracování

Postupy použité při zpracování této bakalářské práce lze rozdělit na tři části: rešeršní část, testování na přístroji eye-tracking a zpracování výsledků.

Nejdříve byla provedena rešerše dostupné literatury, která se týkala barev, jejich parametrů a modelů. Dále se zabývala barvami v mapách a jejich psychologickým působením na člověka. Studované byly také články, týkající se moderní a rozvíjející se technologie eye-tracking, na které bylo prováděno celé testování.

Byla vybrána metoda pro hodnocení čitelnosti barev v mapách, tzv. výpočet barevné vzdálenosti,

$$\rho_{A,B} = \frac{\sqrt{(R_1 - R_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (B_1 - B_2)^2}}{\sqrt{3 \cdot 255^2}} \cdot 100\% \quad (1)$$
$$\rho_{A,B} \in \langle 0; 100 \rangle$$

kde R_1, G_1, B_1 je barevná složka prvního objektu a R_2, G_2, B_2 je barevná složka objektu druhého.

Barevná vzdálenost je chápána jako rozdíl jednotlivých složek RGB kódu (viz. obr. 1), který je převeden do výsledného procentuálního zápisu. Čím se výsledná hodnota ze vzorce (1) blíží ke 100 %, tím se barevná vzdálenost mezi RGB kódy zvětšuje a je rozeznatelnější.



Obr. 1 Barevná vzdálenost mezi RGB kódy

Nejdůležitější částí pak byla příprava samotného testu, kde byla aplikovaná vybraná metoda pro hodnocení čitelnosti barev – barevná vzdálenost na vytvořené mapy.

Byly vytvořeny dvě případové studie. První se zabývala vlivem barevné vzdálenosti a velikosti fontu na čitelnost map (viz. tab. 1). Kde byl vytvořen soubor 21 map s různou velikostí fontu a dále rozděleno do třech kategorií na velikost 8 bodů (malé písmo), velikost 11 bodů (střední písmo) a velikost 14 bodů (velké písmo). Fontem písma bylo zvoleno u všech map bezpatkové písmo Arial. V testování byly cíleně použity mapy USA, kde se předpokládala neznalost respondentů a bylo snahou co nejvíce zamezit jejich ovlivnění. Mapy byly laděné do dvou barevných tónů, převážně byla zvolena barva zelená a některé mapy byly vytvořené i v barvě červené, proto že nejčastější vrozenou poruchou bývá neschopnost rozlišovat právě tyto dvě barvy. Červená barva na člověka působí vzrušivě a opakem k ní je barva zelená, která působí uklidňujícím dojmem. Cílem statistické analýzy bylo zjistit, zda barevná vzdálenost a velikost fontu ovlivňuje schopnost čtenáře mapy zjistit požadovanou informaci. A také, zda odlišný tón barvy má vliv na její čitelnost. Za nezávislou proměnnou byla zvolena barevná vzdálenost a velikost fontu. Za závislou proměnnou, kde jsou její změny způsobeny manipulací nezávislé proměnné, je považován čas do zodpovězení otázky a počet fixací.

Tab. 1 Vyhotovené mapy první případové studie - barevná vzdálenost a velikost fontu

Barevná vzdálenost v % je rozdíl jednotlivých barevných složek RGB kódu tónu mapy a RGB kódu písma podle vzorce (1).					
	20 %	40 %	60 %	80 %	98 %
8 bodů (malé písmo)	Nevada*	New Jersey	Arizona	Maine*	Wyoming
11 bodů (střední písmo)	Wyoming	Arizona*	Maine	Nevada	New Jersey*
14 bodů (velké písmo)	New Jersey	Maine	Nevada*	Wyoming*	Arizona

Pozn.: Mapy států označené hvězdičkou byly vytvořené i v červeném tónu barvy

Druhá případová studie se zabývala vlivem barevné vzdálenosti a typu kartografické vizualizace na čitelnost map (viz. tab. 2). Zde byl také vytvořen soubor 21 map s různou barevnou vzdáleností a rozdělen do kategorií: mapa s kvantitativní metodou, mapa s kvalitativní metodou, mapa se špatně a správně sestavenou barevnou stupnicí a kartodiagram. V testování byly použity barevně upravené mapy Evropy, USA a také mapy Olomouce a jeho okolí. Cílem statistické analýzy bylo stanovit hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi. Za nezávislou proměnnou byla zvolena barevná vzdálenost a způsob kartografické vizualizace. Za závislou proměnnou, kde jsou její změny způsobeny manipulací nezávislé proměnné, byl zvolen čas do zodpovězení otázky, počet fixací a správná odpověď.

Všechny vyhotovené mapy ve formátu .jpg a celý experiment je součástí příloženého DVD.

Tab. 2 Vyhotovené mapy druhé případové studie

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
Typ kartografické vizualizace					
mapa s kvantitativní metodou	✓	✓	✓	✓	✓
mapa s kvalitativní metodou	✓	✓	✓	✓	✓
špatně a správně sestavená barevná stupnice		✓, ✓	✓, ✓	✓, ✓	
kartodiagram	✓	✓	✓	✓	✓

Po vyhotovení všech map, které byly převedeny do formátu .jpg 1680 x 1050 byl vytvořen test a upraven v programu SMI Experiment Center tak, aby se respondentům náhodně zobrazovalo pořadí kladených otázek. Respondent měl na zodpovězení otázky půl minuty (30 000 ms). Před hlavním testováním bylo provedeno pilotní testování, které probíhalo na 20 respondentech. Byly odstraněny nedostatky a následně byl test poupraven do finální podoby. Na konečný test bylo přizváno 50 respondentů jak z řad studentů geoinformatiky, tak i laická veřejnost. Součástí některých experimentů bylo totiž porovnání rozdílů při čtení mapy zkušeným kartografem a laikem.

Výsledky získané testováním budou dále vyhodnoceny pomocí statistických metod a opatřeny komentářem.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Vytvořit mapu tak, aby přinesla uživatelům co největší užitek, je cílem snad každého kartografa. Možná i proto se hodnocením čitelnosti barev věnovalo několik autorů. Za zmínku stojí kniha Hanny Stigmar - *Making 21st Century Maps Legible*, která se zabývala vzájemným kontrastem dvou barev. Autorka zde popisuje, že nízký kontrast mezi barvou písma a pozadím bývá často příčinou špatné čitelnosti. Ze zjištěných informací vyplývá, že dobrého barevného rozdílu mezi popředím a pozadím je dosaženo, pokud je rozdíl jasů větší, než mezní hodnoty. Autorka ve své knize udává, že pro dostatečný jas je podle vzorce (2) potřebná hodnota 125 a pro rozdíl barev (3) je potřebná hodnota 500. To znamená, že pokud je rozdíl jasu větší než 125 a barevný rozdíl větší než 500, dosáhneme dobré čitelnosti mezi barvami.

$$\Delta br = |br_1 - br_2| \tag{2}$$

$$br_1 = \frac{(\text{red}_1 \cdot 299) + (\text{green}_1 \cdot 587) + (\text{blue}_1 \cdot 114)}{1000}$$

$$\Delta h = |\text{red}_1 - \text{red}_2| + |\text{green}_1 - \text{green}_2| + |\text{blue}_1 - \text{blue}_2| \tag{3}$$

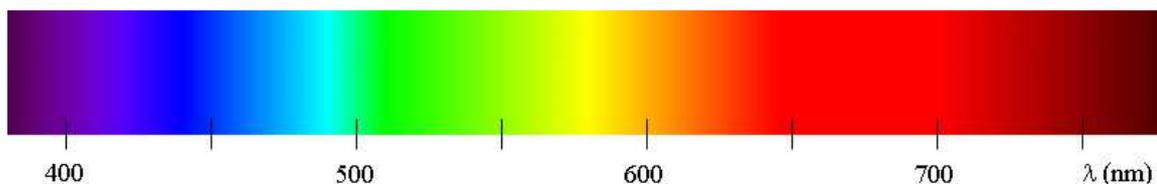
Hodnocením čitelnosti se zabývali také F. V. Scharf a F. Stephen, J. ze Státní univerzity v Texasu, USA. V příspěvku *Letter identification performance is better for negative contrast than positive contrast* autoři zjišťují vzájemnou závislost mezi pozitivním a negativním kontrastem textu vůči pozadí, vůči spolehlivostí čtení a vůči zpoždění, které zabere čtení symbolů.

Za zmínku také stojí článek *Colour, form and movement are not perceived simultaneously* od P. Viviani a Ch. Aymoze, který se zaměřuje na časové posuvy ve vnímání barvy, tvaru a pohybu. Autoři velmi podrobně řeší časové prodlevy při různých změnách podnětu, kterými jsou vjem pohybu, vjem barvy a vjem tvaru.

Kartografie také poskytuje široké pole pro výzkum. Jednou z prvních odborných publikací zaměřující se na aplikaci metody eye-tracking v kartografii je studie *Eye Movement Studies in Cartography and Related Fields* (Steinke 1987), ve které autor shrnuje výsledky různých studií do konce 80. let 20. století. Zabývá se obecnými poznatky o sledování lidského zraku, studiemi zaměřenými na konkrétní grafické výstupy. Také je možné odlišit uživatele map na základě věku i vzdělání a podle jejich potřeb uzpůsobit mapový výstup.

4 BARVY V DIGITÁLNÍM PROSTŘEDÍ

Již v 17. století, Isaac Newton vyslovil teorii, že barva je vjem, který je vytvářen viditelným světlem dopadajícím na sítnici lidského oka. Barevné vidění lidského oka způsobují tři druhy čípků reagujících na červenou, zelenou a modrou část viditelného spektra, které je v rozmezí vlnových délek elektromagnetického záření 400 až 700 nm (viz. obr. 2). Kde 400 – 500 nm obsahuje modrá barva, 500 – 600 nm barva zelená a 600 – 700 nm červená. Lidské oko je schopné rozlišit až 17 000 odstínů chromatických barev a asi dalších 300 odstínů šedi (Voženílek, 2001).



Obr. 2 Spektrum viditelného světla

(zdroj: <http://www.chm.davidson.edu/vce/coordchem/color.html>).

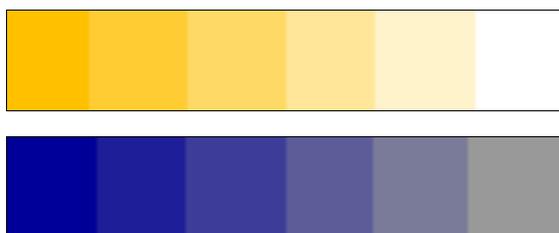
4.1 Parametry barvy

Barva je charakterizována třemi parametry: tón, sytost a jas.

Tón je definován vlnovou délkou, která určuje umístění barvy ve spektrální řadě. Při označování barev mluvíme právě o tónu (barva zelená, žlutá, modrá apod.). Barvy pak můžeme rozdělit na dvě skupiny: pestré (chromatické) - červená, oranžová, žlutá, zelená, modrá a fialová, a nepestré (achromatické, neutrální) - bílá, černá a odstíny šedi.

Sytost je tzv. čistota barvy, podíl čisté chromatické barvy a barvy nepestré. Podle tohoto parametru rozlišujeme barvy na syté a bledé. Čím je barva sytější, tím více se podobá spektrálnímu tónu, nízká sytost pak znamená přiblížení se šedé barvě (viz. obr. 3).

Jas je tzv. světlost, udává relativní čistotu barvy. Podle jasu rozlišujeme barvy na světlé a tmavé. Světlé barvy jsou barvy čisté nebo barvy vzniklé skládáním příslušných chromatických barev. Tmavé barvy obsahují příměsi šedi, popřípadě vznikají skládáním dalších chromatických barev (Voženílek, 2001).



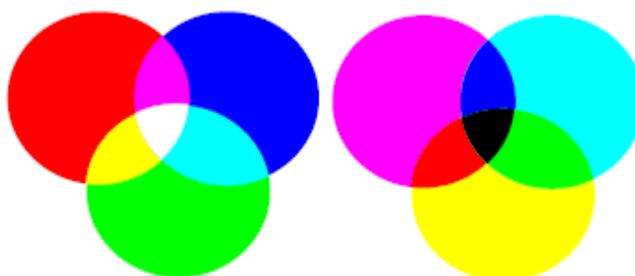
Obr. 3 Horní obrázek popisuje stupňování jasu. Dolní obrázek stupňování sytosti při nezměněném odstínu a světlosti

(zdroj: <http://fpm.gomanpages.com/soubory/barvy/barvy.htm>).

4.2 Skládání barev a barevné modely

Barvy dělíme na základní a doplňkové. Mezi základní barvy patří červená, zelená a modrá. A mezi doplňkové, které vznikají skládáním barev základních, řadíme žlutou, purpurovou a azurovou.

Rozlišujeme dva základní způsoby míchání barev (viz. obr. 4). Prvním je aditivní míchání, kde se jednotlivé složky barev (červená, modrá a zelená) sčítají a výsledkem je světlo s větší intenzitou (bílá barva). Tento způsob používají například monitory, displeje nebo projektory. Druhým je subtraktivní míchání, jehož způsob je opačný, dochází k odečítání od bílé barvy. A smícháním všech těchto barev (azurové, purpurové a žluté) dostaneme barvu černou. Tento způsob míchání používají například tiskárny (Voženílek, 2001).



Obr. 4 Aditivní a subtraktivní míchání barev

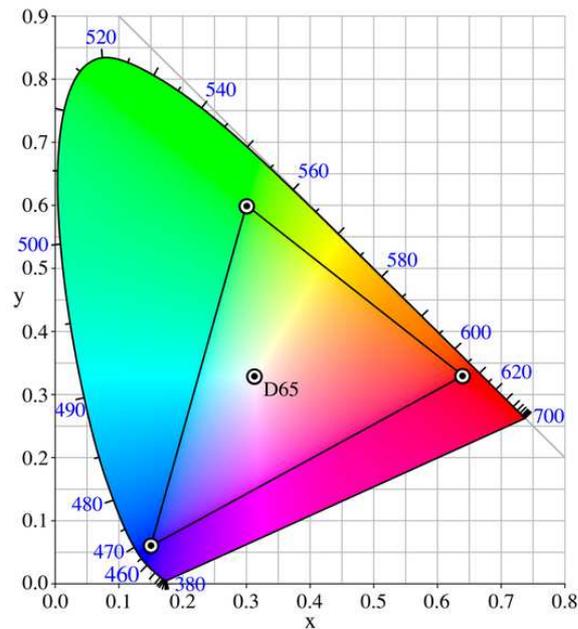
(zdroj: <http://gis.zcu.cz/studium/pok/Materialy/Book/ar03s01.html>).

Barevné modely používají základní barvy a určující způsob mísení těchto základních barev do barvy výsledné. Používají se především pro zjednodušení záznamu barevné informace. V přírodě je barva dána směsí světla různých vlnových délek a různé druhy barevných modelů se snaží napodobit barvu co nejvěrněji. V praxi se však používají modely, u kterých je zvolen vhodný kompromis mezi přesností podání barevného dojmu na jedné straně a složitostí konkrétního modelu a obtížností jeho použití na straně druhé.

K barevným modelům patří model mezinárodního kolorimetrického systému CIE⁽¹⁾, model přirozených barev NCS⁽²⁾ a Munsellův systém. Dále sem patří také modely HSV⁽³⁾, HLS⁽⁴⁾, RGB⁽⁵⁾, CMY(K)⁽⁶⁾.

- Model mezinárodního kolorimetrického systému CIE 1931

Tento model je založen na fyzikálním měření spektrální odrazivosti (viz. obr. 5) a má jednu důležitou vlastnost, že všechny barvy vzniklé smísením libovolných dvou najdeme v diagramu na úsečce spojující ony dvě mísené barvy. Barevný model CIE se znázorňuje ve 2D diagramu, který obsahuje pouze barvy s plným jasem. Dá se v něm tedy pracovat jen s tónem a sytostí. Pro práci s jasnem již 2D model nestačí a musí se přejít k 3D barevným modelům.



Obr. 5 Kolorimetrický trojúhelník CIE 1931 s gamutem sRGB

(zdroj: <http://photov.cz/index.php?page=cataltxt&grouptxt=1&recid=65&lang=CZ>).

- Model přirozených barev NCS

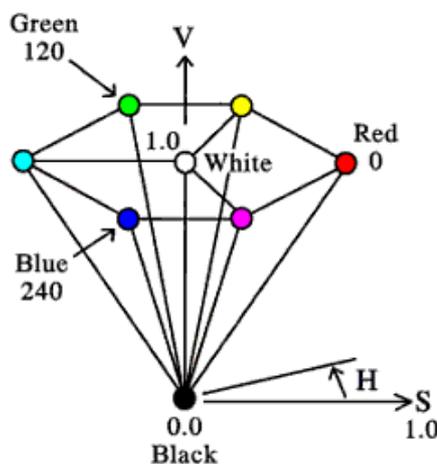
Na základě navržené teorie německým fyziologem Ewaldem Heringem je model přirozených barev NCS opačný barevný systém založený na 6 barvách (bílá, černá, červená, žlutá, zelená a modrá). Byl vytvořen ve Stockholmu ve Švédsku, vychází z přirozeného vnímání barev a znázorňuje pozice šedých odstínů a odstínů s příměsí bílé a černé barvy. Základními parametry jsou barevný tón jako procentuální hodnota mezi dvěma z těchto barev: červená, žlutá, zelená nepomodrá, sytost a příměs bílé a černé barvy (ColoRotate, 2012).

- Munsellův systém

Tento model je založen více na subjektivním pozorování, než na měření fyzikálních hodnot. Je dostupný ve formě katalogu, který umožňuje srovnání barvy se vzorkem, a jsou v něm definovány metody převodu do systému CIE. Tento model však není vhodný pro vyjadřování obrazových dat, ale dodnes je hojně používán zejména v oblasti průmyslu, který se věnuje práci s barvami.

- Model HSV

Barevný model HSV nejvíce odpovídá lidskému vnímání barev, sestávajícímu ze tří základních parametrů: barevný tón (hue), sytost (saturation) a jas (value). Pro popis zobrazení barev v modelu HSV se používá šestiboký jehlan, jehož vrchol leží v počátku soustavy souřadnic HSV (viz. obr. 6). Souřadnice sytosti (S) a jasu (V) se mění od 0 do 1, souřadnice barevného tónu (H) mohou nabývat hodnot 0 – 360°. Model HSV nám umožňuje postupně měnit jeden parametr barvy při zachování ostatních parametrů. Tento model má bohužel i své nedostatky. Přechod mezi černou a bílou barvou není plynulý, jelikož pohyb barevného tónu se neodehrává po kružnici, ale po šestiúhelníku. Tyto nedostatky odstraňuje model HLS (Voženílek, 2001).

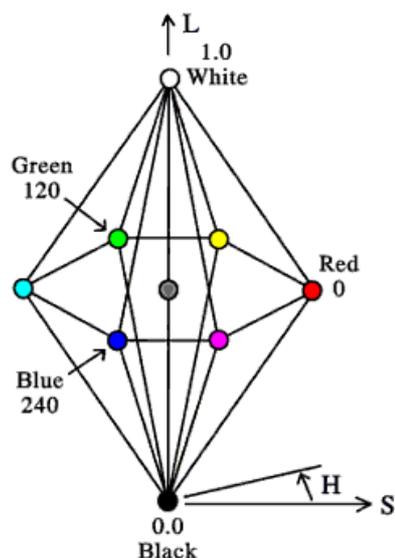


Obr. 6 Barevný model HSV

(zdroj: http://viz.aset.psu.edu/gho/sem_notes/color_2d/html/primary_systems.html).

- Model HLS

Model HLS je velice podobný modelu HSV a odstraňuje některé jeho nedostatky pomocí znázornění na dvou kuželech (pohybem po obvodu kruhu se dosáhlo plynulosti přechodů) (viz. obr. 7). Skládá se ze tří parametrů: tón (hue), světlost (lightness) a sytost (saturation). Barevný tón (H) může nabývat hodnot 0 – 360°, sytost (S) nabývá na povrchu kuželů hodnoty 1 a klesá na 0 a světlost (L) se mění od 0 (černá) do 1 (bílá). Podle tvaru modelu HLS člověk vnímá nejvíce různých barev při průměrné světlosti. Modely HLS i HSV, na rozdíl od RGB a CMY, umožňují měnit i jen jeden parametr barvy, zatímco ostatní dva zůstanou zachovány - to je důležité pro počítačové grafiky, tiskaře i kartografy (Voženílek, 2001).



Obr. 7 Barevný model HLS

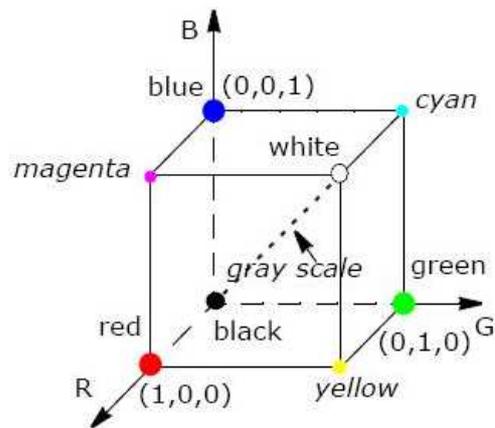
(zdroj: http://viz.aset.psu.edu/gho/sem_notes/color_2d/html/primary_systems.html).

Na šesti spektrálních barvách (purpurová, červená, žlutá, zelená, azurová a modrá) stojí dva hlavní barevné modely – RGB (používaný barevnými monitory) a CMYK (používaný při tisku).

- Model RGB

Model RGB, který vidíme na obrázku 8, je aditivní barevný model založený na faktu, že lidské oko je citlivé na tři barvy – červenou (red), zelenou (green) a modrou (blue). Téměř všechny barvy lze získat kombinací těchto barev.

Při publikování map elektronickou formou odpadá problém konverze z RGB modelu do CMY(K) modelu. V oblasti monitorů se používá barevný prostor sRGB⁽⁷⁾, který je definován tzv. gamutem (rozsahem barevného prostoru) běžného monitoru. A je určen vrcholy trojúhelníku s barvami červená, zelená a modrá. Každá barva je tedy vyjádřena 8 bity s rozsahem 0 – 255. Takže barva 1 bodu obrazu vyžaduje $3 \times 8 = 24$ bitů. Červenou barvu dostaneme hodnotami (255, 0, 0), zelenou (0, 255, 0) a modrou (0, 0, 255). Černá má hodnoty (0, 0, 0) a bílá (255, 255, 255) (Slocum, 2005).



Obr. 8 Barevný model RGB

(zdroj: http://software.intel.com/sites/products/documentation/hpc/ippi/ippi/ippi_ch6/ch6_color_models.html).

- Model CMY(K)

Model CMY(K) je založený na subtraktivním míchání barev. Obsahuje tři základní barvy – azurovou (cyan), purpurovou (magenta) a žlutou (yellow). Jejich složením by měla vzniknout černá, ale při použití běžných tiskových barev není takto vzniklá černá příliš kvalitní. Proto se používá model CMYK, kde je navíc čtvrtá barva - černá (black) (Slocum, 2005).

-
- 1 Z počátečních písmen názvu Commission Internationale de l'Eclairage (Mezinárodní organizace pro osvětlení).
 - 2 Z počátečních písmen názvu Natural Color System.
 - 3 Název modelu je odvozený z anglických výrazů Hue (barevný tón), Saturation (sytylost) a Value (jas).
 - 4 Název modelu je odvozený z anglických výrazů Hue (barevný tón), Lightness (světlost) a Saturation (sytylost).
 - 5 Název vznikl z počátečních písmen anglického označení základních barev modelu – Red (červená), Green (zelená) a Blue (modrá).
 - 6 Název je zkratkou počátečních písmen barev Cyan (azurová), Magenta (purpurová), Yellow (žlutá) a posledního písmena barvy black (černá).
 - 7 StandardRGB.

4.3 Psychologické působení barev na člověka

Výběr barev vhodných pro určitou mapu je velmi složitý proces, protože na každého člověka působí barvy různým způsobem a také závisí na mnoha okolnostech a podmínkách. Mezi hlavní patří spektrální složení dopadajícího světla a směr jeho dopadu, směr pohledu pozorovatele nebo na vlastnostech povrchu. Dále barvy působící na podvědomí člověka ovlivňují jeho chování, city nebo třeba aktuální nálady. Člověk subjektivně upřednostňuje barvy v závislosti na pohlaví, kulturním prostředí, národnosti, náboženství, věku, politické nebo sociální příslušnosti.

Psychologické působení (viz. tab. 3) je velmi důležitý aspekt použití barev v tematické kartografii a projevuje se například vjemem hloubky, pocitem tepla a chladu nebo nestejnou optickou váhou barev (Voženílek, 2001).

- Vjem hloubky

Vjem hloubky je vlastnost barevného vjemu, který má tón barvy a uplatňuje se v situacích, kdy se vyjadřují pozitivní a negativní hodnoty nebo dojem vzdálenosti. Ve stupnicích barevných vrstev jsou barvy řazeny podle pořadí ve spektru: zelená – žlutá – oranžová – červená. Barvy s kratší vlnovou délkou (modrá) se zdají být hlubší, vzdálenější, než barvy s delší vlnovou délkou (červená).

- Pocit tepla

Pocit tepla se využívá nejčastěji na klimatických mapách při znázornění teplot. Máme teplé barvy, které představují červená, oranžová, žlutá a studené barvy, kterými jsou zelená, modrá a fialová.

- Optická váha barev

Optická váha barev závisí na tónu, jasů a sytosti barvy. Výraznějšími barvami jsou barvy syté a tmavé. Nejnižší váhu mají barvy bílá a žlutá. Největší váhu barvy fialová, červená a černá. Pořadí optické váhy je následující: bílá – žlutá – oranžová – červená a žlutá – zelená – modrá – fialová – černá.

- Vzrušivost

Rozlišujeme barvy na klidné a vzrušivé. Zelená barva působí neklidněji a v jejích tónech a odstínech je lidský zrak schopen rozpoznat nejvíce jejich nejmenších rozdílů. Opačnou barvou je barva červená, která vyvolává vzrušivost. Ke znázornění dominant

nebo negativních jevů používáme vzrušivé barvy, klidnými barvami zobrazujeme podklad a druhořadé jevy.

Tab. 3 Psychologické působení barev

barva	vyvolává pocit	evokuje
světle zelená	ticha, vlhka, stability	jarní trávu, příjemný chlad
tmavě zelená	klidu, stability, bezpečí, naděje	přátelství, hustý les, chlad
světle modrá	ticha, přívětivosti, harmonie	oblohu, svět bez hranic, vodní hladinu
tmavě modrá	klidu, vážnosti, smutku, sklíčení	dálky, hloubky, chlad
fialová	znepokojení, neklidu, melancholie, uzavřenosti	chlad, pasivitu
červená	energie, vzrušení, prudkosti, mocnosti, aktivity	krev, nebezpečí, hluk, sílu, progres, horko
žlutá	optimismu, povzbuzení, souladu, harmonie	výzvu k aktivitě, teplo, Slunce
oranžová	radosti, aktivity, slavnosti	teplo, bohatství, úrodu
purpurová	povzbuzení, progresivity, spravedlnosti, aktivity	hrdost, vznešenost, majestátnost
hnědá	jistoty, pořádku, tradice	pevnou půdu pod nohama, zdrženlivost
šedá	netečnosti, slabosti, neutrality	chudobu, poslední zbytek
bílá	je spojena s náboženskými zvyklostmi; v křesťanství vyvolává pocit čistoty, nevinnosti, v jiných náboženstvích vyvolává pocit smutku	užívá se k vyjádření „nejsou data“
černá	v křesťanských oblastech vyvolává pocit smutku	užívá se především k popisu

(zdroj: <http://issuu.com/springwinter/docs/name1ba904>).

4.3.1 Optické barevné klamy

Optické barevné klamy jsou vjemy, při jejichž zpracování dochází k závěrům, které neodpovídají skutečnosti a může dojít ke zhoršení čitelnosti map. Jsou způsobeny subjektivními barevnými vjemy, podněty a podrážděním sítnice, její únavou a citlivostí na barvy. Jak barva bude ve výsledku vypadat, ovlivňují okolní barvy, dopadající světlo a materiál. Podle Voženílka (2002) k optickým barevným klamům, které nejvíce ovlivňují proces sdělení kartografické informace patří:

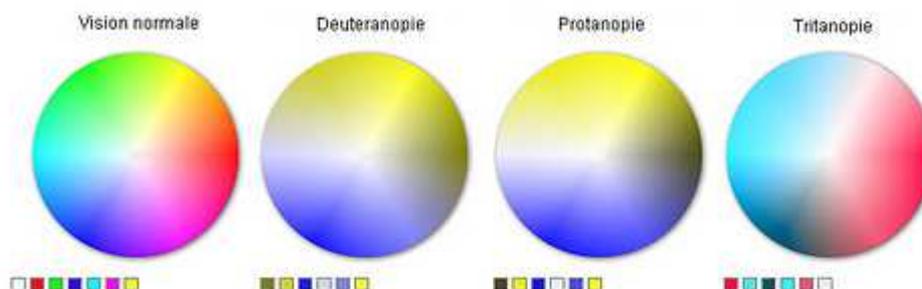
- Barvoslepost

Barvoslepost (daltonismus) je porucha barevného vidění lidského oka, kdy tentýž znak může mít na různém barevném podkladu různou barvu (viz. obr. 9). Proto je vhodné používat pro znaky různé tvary, velikosti, orientaci nebo různé rastry a ty pak dostatečně barevně rozlišovat. Barvoslepostí trpí zhruba 8,5 % lidské populace, z toho je 8% mužů a pouze 0,5 % žen. Většinou jsou ženy jen přenašečkami poruch barvocitu. Vady máme dvojího druhu. Vrozené (nemoc), které jsou nejčastěji spojeny s červenou a zelenou barvou, kdy představují asi 99% z celkového počtu postižených a získané (např. úraz oka).

Velmi vzácná je úplná barvoslepost (monochromazie), při níž postižený vnímá okolní svět pouze černobíle v různých stupních jasu. Mnohem více se objevuje barvoslepost

částečná, kde můžeme rozdělit poruchy podle toho, který z čípků v oku chybí nebo je poškozený na protanopii, deuteranopii a tritanopii. Protanopie je porucha barvocitu s omezenou schopností až neschopností vnímat červenou barvu. Deuteranopie je druh barvosleposti s neschopností rozeznat zelenou barvu. A tritanopie je velmi vzácná porucha vnímání modré barvy (Slocum, 2005).

V extrémních případech barvosleposti mohou postižení vnímat dvě základní barvy – žlutou (teplé barvy) a modrou (studené barvy). Při tvorbě dokumentů určené barvoslepým bychom se měli snažit o co největší kontrast mezi jednotlivými barevnými odstíny.



Obr. 9 Poruchy barevného vidění

(zdroj: <http://blog.emmanueldetaillac.fr/se-sensibiliser-au-daltonisme-et-aux-couleurs/>).

- Jev kontrastu

Jevy kontrastu vznikají při pozorování většího počtu ploch s různými jasy nebo ploch různě barevných. A způsobuje, že předmět položený na jasném podkladě se jeví oku tmavší než tentýž předmět položený na tmavém podkladě (viz. obr. 10).



Obr. 10 Klam, kde kolečka uprostřed čtverců mají pořád stejný kontrast barvy

(zdroj: http://web.quick.cz/iveta_kulhava/Opticke-klamy.htm).

Dalším příkladem klamu je iradiace, která se projevuje tím, že světlé plochy na tmavém pozadí se zdají být větší než stejně velké tmavé plochy na světlém pozadí. Iradiace může být negativní a pozitivní. Přestože obě čtvercové plošky (viz. obr. 11) mají stejnou plochu, jeví se nám bílý čtverec na tmavém podkladě větší než černý na světlém.



Obr. 11 Klam, kde světlé plochy na tmavém pozadí se jeví větší než tmavé plochy na pozadí světlém (iradiace)

(zdroj: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/493-fyziologicke-zrakove-klamy>).

- Barevná aberace

Barevnou aberací rozumíme to, že se barvy jeví v různých rovinách. Například modrá se jeví nejvzdálenější, zatímco červenou vnímáme nejbližší.

- Laterální přizpůsobování

Máme-li dvě barvy stejného barevného tónu, avšak zřetelně rozdílné sytosti položené blízko sebe, nastává tendence u barvy menší sytosti přibrat odlišný barevný tón. Například zelená barva nám způsobí, že světle zelená dostane nafialovělé zbarvení a modrá způsobí, že světle modrá bude vypadat nažloutle.

4.3.2 Vnímání barev

O vnímání barev pojednává psychologie barev, jejímž hlavním představitelem a zakladatelem je německý psycholog Max Lüscher. Základním zákonem v oblasti vnímání barev je vzrušivost jasných barev a naopak uklidňující dojem, kterým působí pastelové tóny barev. Lidský zrak nejintenzivněji vnímá zelenožlutou barvu, méně citlivý je na barvu modrou až fialovou. Rozdílné je i naše vnímání barev v denním osvětlení a za šera. Za dne jsou naše oči nejcitlivější na žlutou barvu, potom následují oranžová a červená. Za šera vidíme jasněji barvu modrou než červenou (Voženílek, Kaňok a kol., 2011).

Závislost vnímání barev na pohlaví je dána odlišnou genetickou výbavou u žen a mužů. Muži mají chromozomy X a Y a ženy mají pouze dva chromozomy typu X. Právě v chromozomech typu X se nachází genetická výbava pro čípky, které umožňují rozeznávání barev. Proto má žena více druhů čípků než muž a rozeznává více barevných odstínů. Muži rozlišují pouze základní barevné odstíny.

Vnímání barev závisí na životních podmínkách, kde Inuité (Eskymáci) dokáží rozeznat více barevných odstínů bílé a šedé. Obyvatelé pouští rozlišují zase více odstínů okrové a žluté než běžný Středoevropan. Dále máme například závislost na kulturních

podmínkách, kde bílá barva znamená pro běžného Evropana radost, čistotu, snatek, zatímco na Dálném Východě bílá symbolizuje smutek a vážnost (Voženílek, Kaňok a kol., 2011).

Příklady působení barev na některé skupiny obyvatelstva podle Monmoniera (2000):

- muži upřednostňují oranžovou před žlutou a modrou před červenou barvou,
- ženy naopak preferují červenou a žlutou barvu,
- předškolní děti mají rády syté, jasné barvy,
- ekonomicky dobře situovaní lidé středního věku dávají přednost pastelovým tónům,
- dospělí lidé v Severní Americe upřednostňují modrou a červenou před fialovou a zelenou a fialovou a zelenou před oranžovou a žlutou barvou,
- lidé se vztahem k přírodě mají v oblibě stupnici žlutá-zelená-hnědá,
- obecně je stupnice zelená-modrá používanější než žlutá-žlutozelená, naprosto nejméně oblíbenou barvou je žlutozelená barva.

4.4 Barvy v mapách

Barva je jedna z proměnných kartografického znaku a jedním z nejdůležitějších vyjadřovacích prostředků mapy. Je součástí všech jejích prvků a plní informační i estetickou funkci. Správná volba barev zabezpečuje rychlou orientaci čtenáře a správný výklad informací, které má mapa podat. Použití konkrétních barev se odvíjí od vlastností znázorňovaných jevů a hlavně od účelu mapy (Kaňok, Voženílek, 2008).

4.4.1 Volba barev pro kvalitativní jevy

Pro kvalitativní jevy plní barva na mapách nejčastěji tři základní funkce: rozlišovací, klasifikační a estetickou. Kvalitu znázorňujeme pomocí tónu barvy (nikoli pomocí jasu či sytosti). Volíme tóny, které mezi ostatními nepůsobí dominantně a proto se nedoporučuje používat barvy se 100% sytostí. Tyto jevy vyjadřují vlastnosti, které se popisují slovy (název státu, název kraje, národnost, vzdělání, typ komunikace (železnice, silnice)).

Počet barev pro jednoznačné kvalitativní odlišení objektů se provádí pomocí barevných schémat, kde je počet definován vztahem (Voženílek, Kaňok a kol., 2011):

$$1 \leq n_b \leq n_p \quad (4)$$

kde n_b je celkový počet barev a n_p je celkový počet objektů k obarvení. Pro jevy bez vztahu k barvám se nejobtížněji sestavují barevná schémata. Podle hodnoty n_p se počet používaných barev pohybuje mezi 7 až 10, ale i to je ovlivněno především cílem mapy a cílovou skupinou uživatelů.

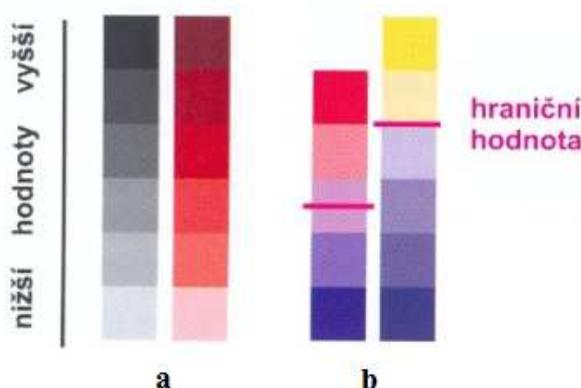
Podle Kaňoka, Voženílka (2008) jsou zásady pro volbu barev kvalitativních jevů následující:

- velké plochy se vykreslují světlými a málo sytými odstíny,
- malé plochy, které by se mohly přehlédnout, se vykreslují tmavými a sytými odstíny (např. městská zástavba),
- bodové a liniové znaky se vykreslují tmavými a sytými odstíny aby byly snadno čitelné,
- dodržuje se asociativnost barev (lesy zeleně, voda modře, zlato žlutě).

4.4.2 Volba barev pro kvantitativní jevy

Oproti kvalitativním jevům znázorňujeme kvantitu pomocí jasu a sytosti barvy. Kvantitativní charakterizují vlastnosti, které lze vyjádřit číselně (nadmořská výška, rozloha území, počet obyvatel sídla).

Rozlišujeme barevné stupnice sekvenční (unipolární) (viz. obr. 12, a), kde se hodnoty pohybují od počátečního (nulového) bodu pouze jedním směrem (např. nezaměstnanost v okresech ČR) a divergentní (bipolární) (viz. obr. 12, b), kde hodnoty rostou na obě strany (např. vizualizace průměrných lednových teplot v okresech ČR). Divergentní stupnice dále rozlišujeme od nulového bodu na divergentní symetrické, které mají stejný rozsah hodnot proměnné nad a pod hraniční hodnotou a divergentní asymetrické, u kterých převládá hodnota jedním směrem (Voženílek, Kaňok a kol., 2011).



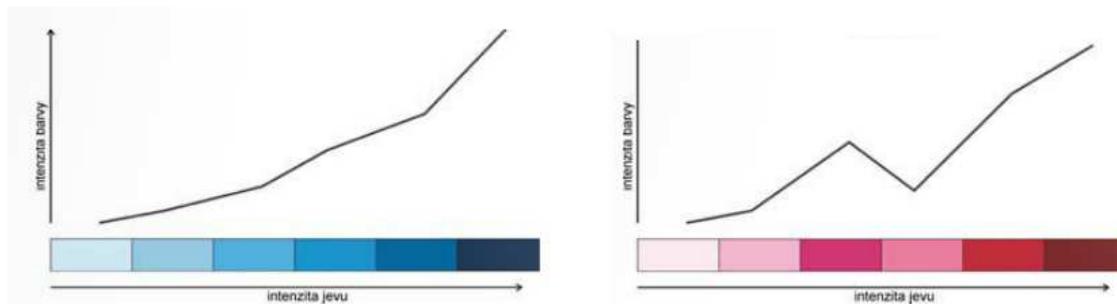
Obr. 12 Sekvenční a divergentní stupnice.

(zdroj: Metody tematické kartografie, Voženílek, Kaňok a kol, 2011).

Efektivita mapy klesá se zvyšujícím se počtem kategorií a naopak efektivita mapy roste s uspořádaností barevné stupnice. Počet intervalů ve stupnici je ovlivněn použitou barvou a zvolenou metodou tematické kartografie. V souvislosti s barevnými stupnicemi může dojít k tzv. propadání barev (viz. obr. 13), což je chyba způsobená špatnou volbou barev při sestavování barevných stupnic. S rostoucí hodnotou jevu musí růst i intenzita odstínu barvy (Voženílek, Kaňok a kol., 2011).

Podle Kaňoka, Voženílka (2008) jsou zásady pro volbu barev kvantitativních jevů následující:

- čím vyšší je intenzita jevu, tím vyšší je intenzita barvy,
- propadání barev – intenzita barvy neodpovídá intenzitě jevu,
- u protikladných jevů (záporné - kladné, úbytek - přírůstek) se používají dva barevné odstíny (studené - teplé),
- bílá barva vyjadřuje, že „zde se jev neměřil nebo se nevyskytuje“.



Obr. 13 Vlevo je správně sestavená barevná stupnice. Vpravo je propadání barev mezi třetím a pátým odstínem.

(zdroj: <http://issuu.com/springwinter/docs/name1ba904>).

4.4.3 Černobílé mapy

Černobílé mapy se často používají například v kartografickém doprovodu knih a časopisů. Při převodu mapy do černobílé podoby (kopírování) může vlivem dvou odlišných barevných tónů (často se jedná o červenou a modrou barvu) k vytvoření stejného odstínu šedé barvy, čímž se mapa stane téměř nečitelnou. Někdy může být převod do černobílé podoby použit i úmyslně, jako primitivní ochrana před kopírováním kartografického díla. Při tvorbě mapy černobílé reprodukce je někdy vhodné nahradit barvy šrafováním (Brewer, 2005).

V případě černobílé barevné palety (viz. obr. 14) jsou nejvhodnější obě okrajové barvy, tedy černá (RGB = 0, 0, 0) a bílá (RGB = 255, 255, 255).



Obr. 14 Černobílá stupnice barev

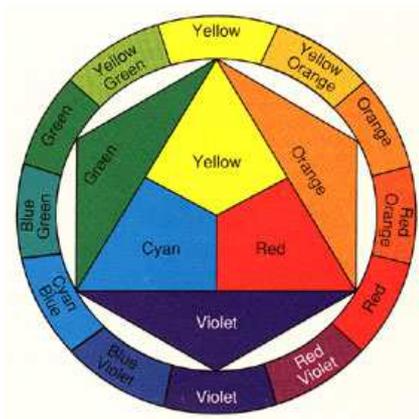
(zdroj: autor).

4.5 Barva a kontrast

Kontrast znamená, že něco stojí v protikladu. U barevného kontrastu jsou to barvy, které leží na protilehlých stranách barevného kruhu (viz. obr. 15). Dáme-li je vedle sebe, zmnoží to viděnou sytost obou, tudíž vnímáme kontrast mezi nimi. Nízký kontrast mezi barvou písma a pozadím bývá často příčinou špatné čitelnosti. Nejvyššího kontrastu dosáhneme tehdy, pokud porovnáme černou a bílou barvu. Kontrast je počítán pomocí algoritmu založeného na světlosti.

Tři zásady správného kontrastu barev podle Stigmar (2010):

- dostatečné světlostní rozdíly mezi popředím a pozadím a vyhnout se používání barev vedle sebe s podobnou světlostí,
- použití tmavých barev jako jsou červená, fialová a modrá se světlými barvami např. zelená, žlutá nebo oranžová,
- vyhnout se použití barevného tónu z přilehlých částí v kruhu a nebo se alespoň ujistit, zda se liší ve světlosti.



Obr. 15 Barevný kruh

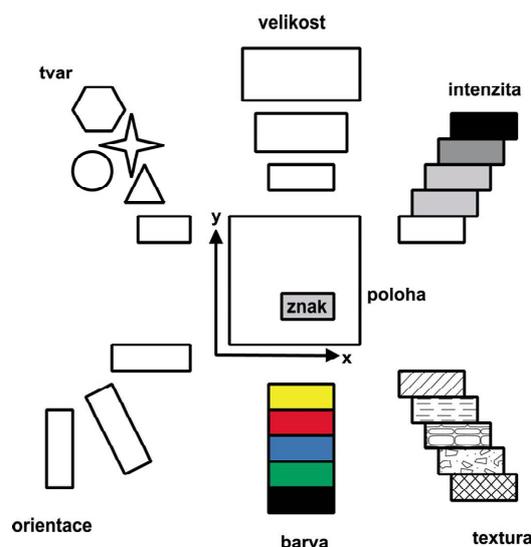
(zdroj: <http://homepage.newschool.edu/~aufierot/designlab1/huecircle1.html>).

4.6 Kartografické vyjadřovací metody

Metoda grafického znázornění objektů a vlastností objektů do mapy se volí především s ohledem na potřebu vizualizace údajů.

a) Kvalitativní

V rámci kartografie se kartografická sémiologie (sémiotika) zabývá teorií kartografických znaků a jejich užíváním. Za jejího zakladatele je považován francouzský kartograf J. Bertin, podle něhož má znak 6 základních optických vlastností (viz. obr. 16) a to tvar, velikost, intenzita, orientace, barva a textura (Kraak, 2003).



Obr. 16 Optické vlastnosti kartografického znaku podle Bertina

(zdroj: <http://www.geogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/>).

V rámci kartografické sémiologie je rozlišujeme podle Veverky, 2008:

- sémantika – zkoumá vztahy znaků k obsahu toho, co vyjadřují
- sygmatika – zabývá se vztahy znaků k funkci objektů, které označují. Pomocí barvy, symbolu, textu, struktury...
- syntaktika – rozlišuje vztahy znaků mezi sebou
- pragmatika – řeší vztahy uživatelů znaků ke znakovým soustavám
- gramatika – pravidla kompozice znaků do vyšších celků, kde musí být logicky a hierarchicky strukturovány

Některé mapy využívají výhradně skupinu metod kvalitativních, část map obě skupiny metod kombinuje, tedy zobrazuje jak údaje kvalitativní, tak také kvantitativní.

Převážnou část obsahu mapy tvoří prvky zobrazené pomocí bodových (figurálních), liniových (čárových) nebo areálových (plošných) znaků. Znaková soustava má umožňovat co nejrychlejší vnímání a co nejlepší zapamatování. Musíme brát v úvahu, pro koho je mapa sestavována, jaké má vyvolávat myšlenky a představy.

b) Kvantitativní

Při zpracování kvantitativních údajů do mapy, musíme vzít v úvahu, jestli se zpracovávají relativní nebo absolutní hodnoty. Relativní hodnoty se zpracovávají metodami kartogramů, metodou teček a nebo některou z dasymetrických metod. Absolutní hodnoty se zpracovávají zase metodami kartodiagramů, metodou izolinií nebo metodou teček.

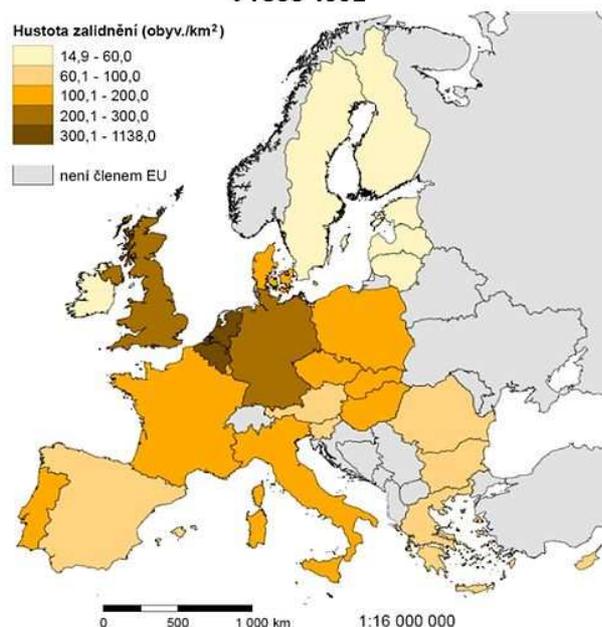
Kartogram je jednou z nejpoužívanějších metod tematické kartografie. Podle Kaňoka (1999) je kartogram mapa s dílčími územními celky, do kterých jsou plošným způsobem znázorněna statistická data (jedná se o relativní hodnoty) většinou geografického charakteru (viz. obr. 17). Podstatnou charakteristikou kartogramu je to, že znázorňuje relativní hodnotové ukazatele. Kvantitativní data jsou přepočtena na jednotku plochy (např. počet obyvatel na 1 km²). Dílčí územní jednotky jsou vyplněny rastrem nebo barevnými odstíny, kde vyjadřují intenzitu jevu ve sledovaném území. Při tvorbě kartogramu je velice důležité správné vytvoření stupnice.

Pokud nejsou kvantitativní data přepočtena na plochy dílčích územních jednotek, hovoří se o tzv. nepravých kartogramech nebo pseudokartogramech.

Kartogramy rozlišujeme podle počtu znázorňovaných jevů na jednoduché a složené, podle způsobu interpretace jevu zase na strukturní, tečkové, čárové a pseudoprostorové (Kaňok, 1999).

HUSTOTA ZALIDNĚNÍ VE STÁTECH EVROPSKÉ UNIE

v roce 1992



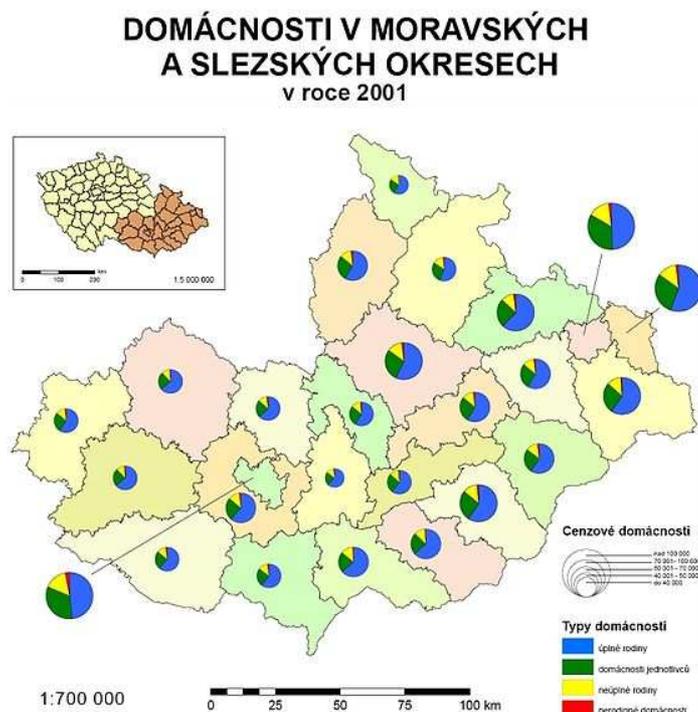
Obr. 17 Kartogram

(zdroj: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Choropleth_map.jpg).

Kartodiagram (diagramová mapa) je podle Kaňoka (1999) mapa s dílčími územními celky, do kterých jsou diagramy znázorněna statistická data (jedná se o absolutní hodnoty) většinou geografického charakteru (viz. obr. 18). Podstatnou charakteristikou kartodiagramu je to, že hodnoty vyjadřujeme vždy v absolutní podobě. S kartodiagramy se můžeme setkat nejen v odborných publikacích, ale také v oborech, které prezentují

statistická data (geografie, demografie, ekonomie...), dále se kartodiagramy vyskytují v médiích a propagačních materiálech.

Diagramy, které v kartodiagramech znázorňují statistická data, mohou být znázorněny jako body, linie nebo plochy. Proto rozlišujeme kartogramy bodové, plošné a liniové.



Obr. 18 Kartodiagram

(zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Kartodiagram.jpg>).

5 EYE-TRACKING

Eye-tracking, neboli „oční kamera“, představuje v současnosti jednu z nejmodernějších technologií, která do oblasti výzkumu přinesla řadu nových poznatků. Jde o metodu snímání pohybu lidského oka. Zařízení, které je schopné tyto pohyby sledovat a měřit, se označuje jako eye-tracker. Podle Hlavičky (2001) je základem této technologie kamera, jejíž snímače mají schopnost zachytit nejen směr, kam se člověk dívá, ale i vzdálenost, na jakou zaostřil, nebo také čas, jak dlouho testované osobě trvá nalezení určitého místa v obraze.

Technologie eye-tracking byla původně vyvinuta k potřebám armády, kde se využívá především v helmách pro piloty. Díky nim palubní počítač neustále ví, kam se pilot dívá a do těchto míst mu na čelní sklo promítá důležité informace. Samozřejmě se toho s úspěchem využívá i při zaměřování nepřátelských cílů (Hlavička, 2001).

Dnes se jeho výsadní využití přesouvá hlavně do oblasti marketingu a reklamy, kde se pomocí něj vyhodnocuje optimální rozvržení webových stránek či reklamních panelů. Princip této technologie spočívá v nasvícení lidského oka slabým infračerveným zářením. Jeho odraz na zornici oka je následně zachytáván kamerou v přístroji, kde se analyzuje směr, kam se testovaná osoba dívá. Odrazem infračerveného záření od rohovky přístroj rozeznává vzdálenost, na jakou je oko zaostřeno (Adaptic s. r. o., 2012).

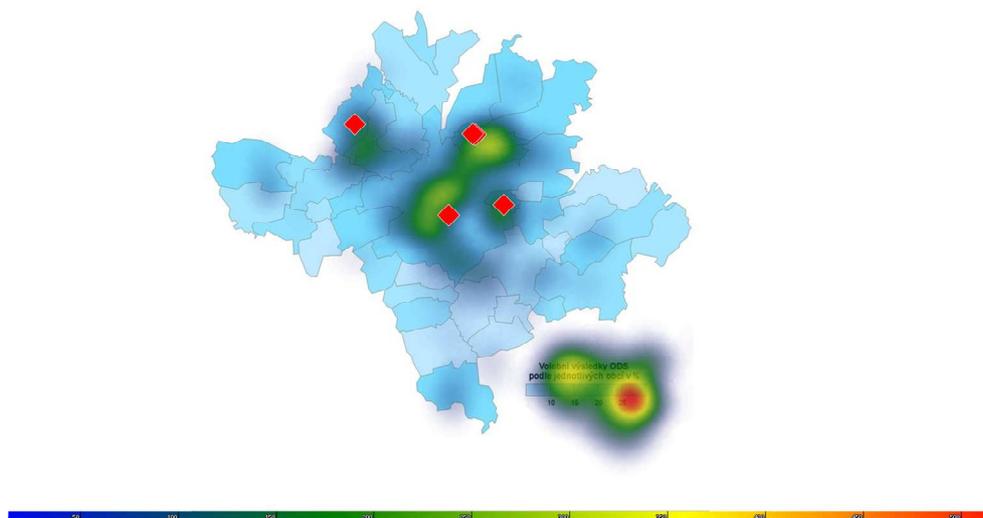
Podle Duchowského (2007) se metody sledování pohybu očí dají kategorizovat do tří hlavních skupin:

- elektrookulografie (EOG, využití elektrod umístěných v okolí oka),
- metody využívající speciální kontaktní čočky,
- bezkontaktní (neinvazivní) metody.

Základním výstupem jsou pohyby očí, což umožňuje přesně určit, které podněty testovaný subjekt zaregistroval, povrchně prolétl nebo zcela přehlédl. Tato skutečnost nám odhalí, nakolik je testovaný materiál kvalitní, kde jsou slabá místa a nedostatky a také, jak tato negativa odstranit.

Existuje několik hlavních metod vizualizace dat eye-trackingu. Holmquist a kol. (2011) uvádějí jako hlavní vyjadřovací prostředky HeatMaps, ScanPath (trajektorie pohledu) a Analýzu AOI (area of interest).

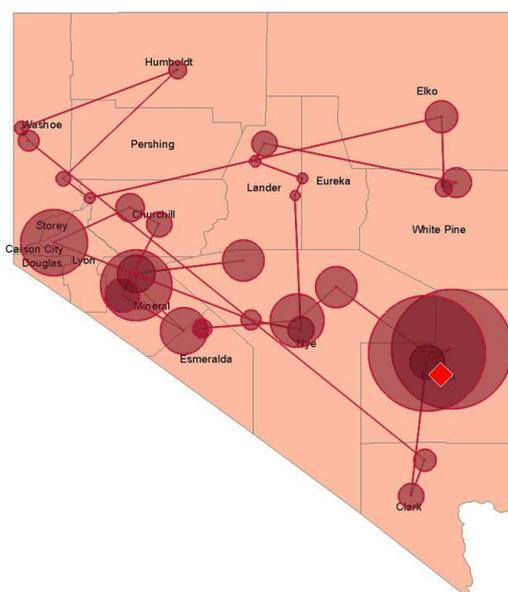
HeatMaps (tzv. tepelné mapy) zobrazující poloprůhledný gradient nad předlohou. Na nich jsou patrná místa, kam se zrak testovaných lidí soustřeďoval nejvíce (viz. obr. 19). Využití této technologie v kartografii přináší nový pohled na interakci mezi uživatelem a mapou.



Obr. 19 HeatMapa vytvořená z reakcí 4 uživatelů

(zdroj: autor).

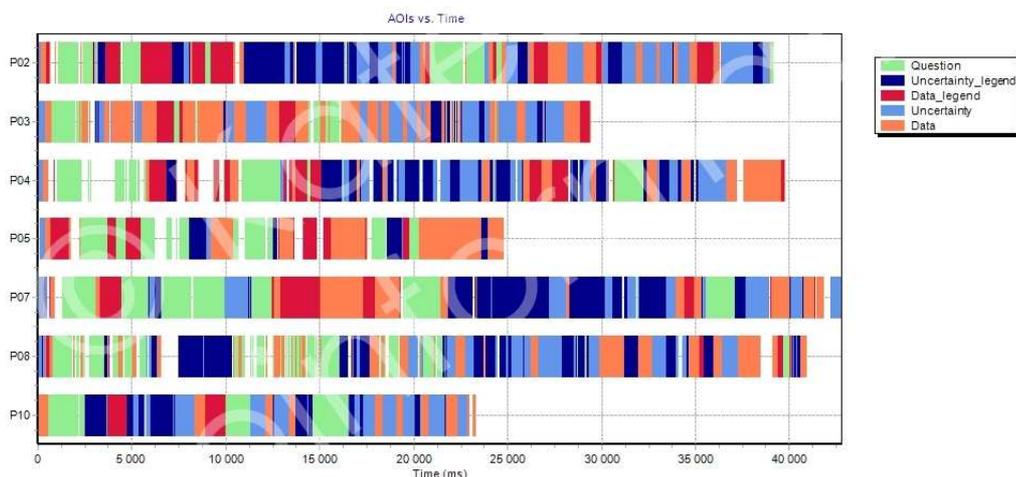
Další metodou pro zobrazování dat z eye-trackingu je tzv. GazePlot, který zobrazuje trajektorii sákd spojující pozice fixací. GazePlot zobrazuje fixace jako kruhy o různé velikosti (jejich poloměr odpovídá délce fixace) a sáky jako linie, které tyto kruhy spojují (viz. obr. 20). V případě zobrazování většího množství dat touto metodou dochází k omezení, jelikož díky překryvům jednotlivých fixací není možné vizuálně rozeznat jejich počet.



Obr. 20 GazePlot zobrazující fixace a sáky

(zdroj: autor).

Analýza AOI (tzv. oblast zájmu) je založena na vyhodnocení konkrétních částí mapy (legenda, měřítko, titul, atd.). Například pokud hodnotíme vliv kompozice na její čtení respondentem, je využití AOI velmi užitečné. Ve stimulu označíme jednotlivé kompoziční prvky jako AOI a následně můžeme zjistit, jak dlouho se do dané oblasti respondent díval, v jakém pořadí AOI navštívil atd. Výsledky je možné vizualizovat např. pomocí tzv. Sequence Chart (viz. obr. 21), který na časové ose zobrazuje rozdílnými barvami oblasti, na které se uživatel díval.



Obr. 21 AOI Sequence Chart

(zdroj: <http://geoinformatics.upol.cz/eyetracking.php>).

Eye-tracking nebyl v kartografii doposud moc používán, avšak jeho velký přínos by mohl být zejména v získání informací o tom, jakým způsobem lidé vnímají mapy, jak rychle se v nich orientují a popřípadě na co kladou při hledání v mapě největší důraz.

6 VLASTNÍ TESTOVÁNÍ

Jak již bylo uvedeno dříve, testování probíhalo formou spuštění experimentu na přístroji eye-tracking. Vhodnost a srozumitelnost otázek byla nejprve vyzkoušena na pilotním testování, které probíhalo v měsíci březnu a kam bylo přizváno 20 respondentů. Byly odstraněny nedostatky a následně byl experiment upraven do finální podoby. Konečné testování probíhalo s 50 respondenty v měsících března a dubna na katedře geoinformatiky.

Celý experiment je součástí přiloženého DVD.

6.1 Výběr respondentů

Cílem šetření bylo získat od respondentů hodnocení vybraných map. Velikost vzorku byla stanovena na 50 respondentů. Toto množství je pro testování dostačující. Respondenty se stalo 30 studentů katedry geoinformatiky v Olomouci (kartografové) a 20 studentů vysokých a středních škol (laická veřejnost).

Každá osoba byla vždy před započítáním testování poučena a řádně jí bylo vysvětleno, co má očekávat a jak v testu postupovat. Velký důraz byl kladen na to, aby každý testovaný měl své pohodlí a hlavně klid v průběhu celého testování.

6.2 Obsah a struktura experimentu

Úvodní stránka obsahovala informace o účelu testování, jeho struktuře a dělce. Následně bylo testování uvozeno krátkou dotazníkovou částí, která bývá zpravidla zařazována na závěr. Zde se však zdálo vhodnější zařadit ji na začátek, aby respondent nebyl již nadále odváděn od tématu testování. Zjišťováno bylo pohlaví respondentů, věk a jejich vztah ke kartografii, respektive jestli splnili nějaké zkoušky z kartografie (na výběr bylo z možností ZKAR, KARTO, KARTO a TEKA, žádná). Poté následovala kalibrace a po úspěšném zkalibrování se přešlo již na samotný experiment. Po zodpovězení poslední otázky byla zařazena stránka s poděkováním.

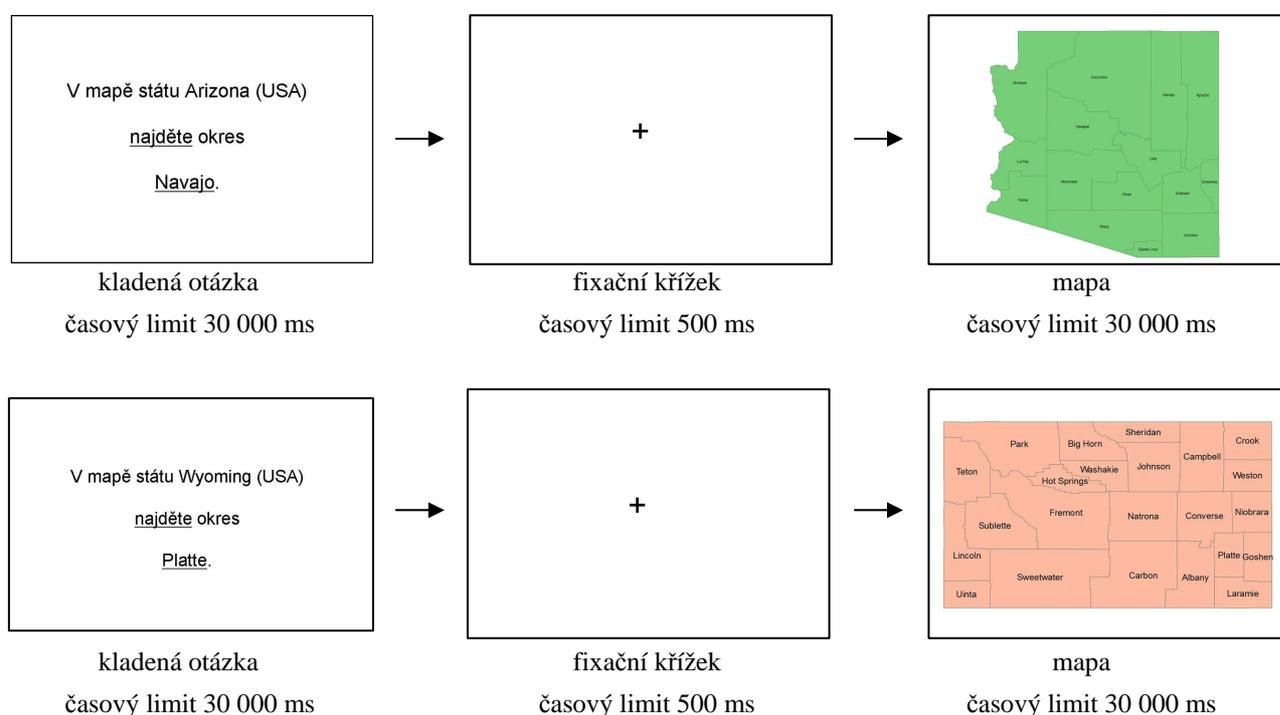
Jak popisuje obrázek 22 a 23 na samotném slaidu se zobrazila otázka, na jejíž přečtení a pochopení byl stanoven limit 30 000 ms. Následně mezi mapou a kladenou otázkou se objevuje fixační křížek, který slouží k tomu, aby všechny trajektorie pohledu začínaly na stejném místě (uprostřed obrázku). A poté následuje samotná mapa, ve které musí testovaná osoba splnit požadovaný úkol a kliknout do mapy. I zde byl stanoven limit na 30 000 ms a také nastaven záznam kliknutím levým tlačítkem myši do mapy. Po uplynutí času se automaticky objeví další otázka.

Byly vyhotoveny dva experimenty testující vliv barev na čitelnost. Celkem bylo vytvořeno 42 otázek, které se respondentům zobrazovaly v náhodném pořadí. U testovaných jsme zjišťovali čas do zodpovězení otázky a počet fixací. Podle Goldberg a Kotval (1999) vysoký počet fixací svědčí o neefektivnosti úkolu a jejich počet může ovlivnit mnoho proměnných. Čas do zodpovězení otázky je dalším ukazatelem snahy a efektivity. V eye-trackingu lze získat také informace o průměrné amplitudě sakád, o

průměrné délce fixací, o počtu sakád, o poměru sakád a fixací, o průměru zornic a o celkové dráze pohybu oka (Fuhrmann a kol., 2009).

První experiment, který měl 21 otázek se zabýval vlivem barevné vzdálenosti a velikosti fontu na čitelnost map (viz. tab. 1 a obr. 22). Obsahem stimulů byly zvoleny mapy USA. Zobrazené území bylo vybráno tak, aby bylo většině účastníků výzkumu neznámé a byla zajištěna nezávislost sledovaného čtení mapy vzhledem k dřívějším geografickým znalostem účastníků. Aby bylo zamezeno efektu učení, stimuly byly randomicky zařazeny do dalších testových otázek.

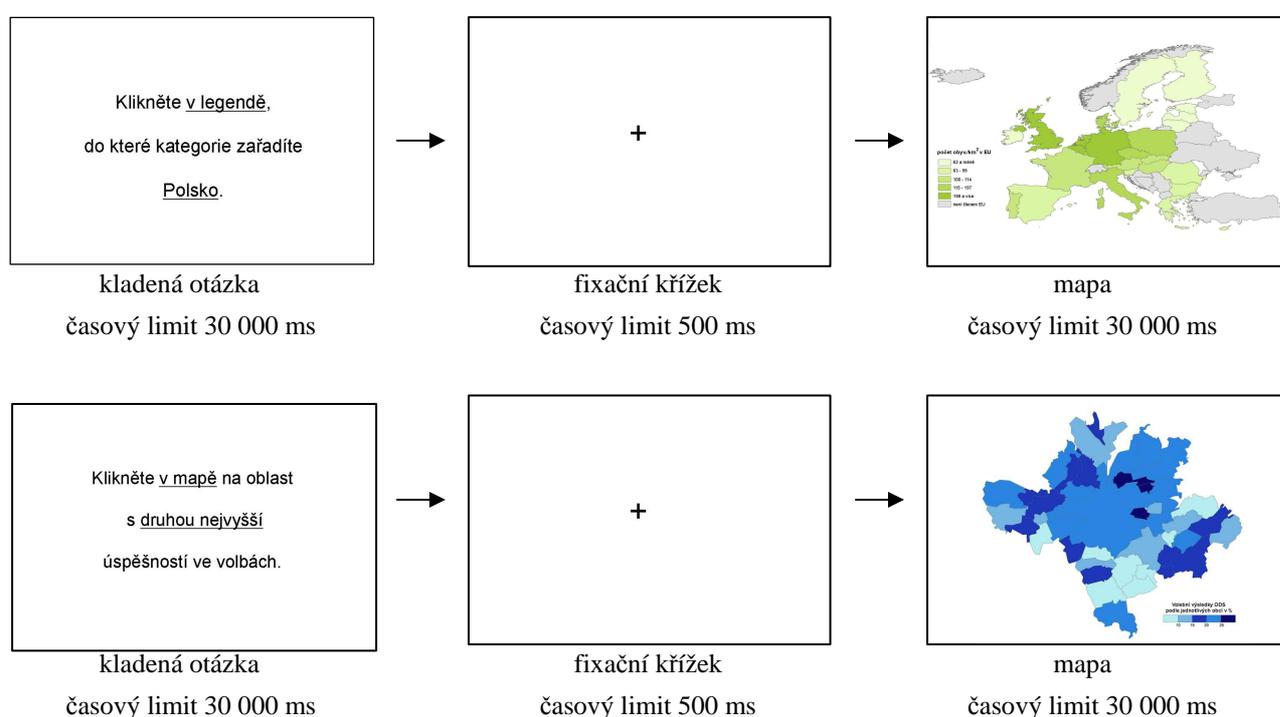
Mapy byly laděné do dvou barevných tónů, převážně byla zvolena barva zelená a některé mapy byly vytvořené i v barvě červené. U všech map bylo zvoleno bezpatkové písmo Arial jen s různou velikostí fontu 8 bodů (malé písmo), 11 bodů (střední písmo) a 14 bodů (velké písmo). Respondent měl za úkol najít v mapě okresů v USA požadovaný okres a kliknout na něj levým tlačítkem myši do mapy, poté mohl přejít na další otázku. Cílem statistické analýzy bylo zjistit, zda nezávislá proměnná (barevná vzdálenost a velikost fontu) ovlivňuje schopnost čtenáře mapy zjistit požadovanou informaci. A také, zda odlišný tón barvy má vliv na její čitelnost. Za závislé proměnné byly zvoleny následující metriky odvozené z analýzy eye-trackingových dat: čas do zodpovězení otázky a počet fixací. Všechny zmíněné závislé proměnné jsou významnými indikátory určitého chování jedince při vyhledávání odpovědi.



Obr. 22 Ukázky prvního experimentu

Druhý experiment, který měl také 21 otázek se zabýval vlivem barevné vzdálenosti a typu kartografické vizualizace na čitelnost map (viz. tab. 2 a obr. 23). Obsahem stimulů

byly typy map kartografické vizualizace: kvantity, kvality, mapy se správnou stupnicí, se špatně uspořádanou stupnicí a kartodiagramy. Byly použity barevně upravené mapy Evropy, USA a ORP Olomouce. Respondent měl na základě přečtené otázky kliknout správně do mapy nebo legendy. Cílem statistické analýzy bylo stanovit hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi. A také, zda nezávislá proměnná (barevná vzdálenost a typ kartografické vizualizace) ovlivňuje schopnost čtenáře mapy zjistit požadovanou informaci. Podobně jako u prvního experimentu byly za závislé proměnné zvoleny následující metriky odvozené z analýzy eye-trackingových dat: čas do zodpovězení otázky, počet fixací a správná odpověď na otázku. Všechny zmíněné závislé proměnné jsou významnými indikátory určitého chování jedince při vyhledávání odpovědi.



Obr. 23 Ukázky druhého experimentu

Jedním z cílů testování bylo také sledování toho, zda se budou lišit odpovědi mezi těmi, kteří mají splněnou zkoušku z kartografie a mezi těmi, kteří ji nestudují a mapy používají jen ve volném čase. Proto byla zařazena otázka na splněné zkoušky.

Při kalibraci systému nebyl zaznamenán žádný problém, a to ani v případě, že se respondent cítil mimořádně unavený či měl zhoršený zrak. Nejčastějšími chybami při testování bylo nezaznamenávání kliknutí testovaných osob a ztráta očního kontaktu. Tato data byla pro další práci nevhodná a studie se zaměřila na vhodnější záznamy. Chybějící kliknutí v mapě bylo totiž hodnoceno jako nesprávné.

Po skončení celého testování bylo možné přistoupit na samotné vyhodnocení všech výsledků. Dosažené výsledky jsou postupně představeny v následující kapitole.

6.3 Hodnocení výsledků testování

Prostřednictvím testování bylo získáno 50 naměřených dat, jejichž souhrn je součástí příloženého DVD. Před samotným hodnocením výsledků byly mapy s chybějícím kliknutím v mapě hodnoceny jako nesprávné.

Obě případové studie jsou dále postupně rozebrány a okomentovány. Nejprve bylo provedeno třídění výsledků do dvou kategorií na kartografy a nekartografy. Součástí experimentu bylo totiž porovnání jejich rozdílů při čtení mapy. Statistické hodnocení výsledků bylo rozděleno na popisnou statistiku a testování hypotéz.

Testování statistických hypotéz bylo provedeno v softwaru R. Testování hypotéz je statistická metoda, která určuje, jak pravděpodobná jsou naměřená data v případě platnosti hypotézy, kterou testujeme. Pro testování vždy vytváříme dvě hypotézy. Testovanou, kterou označíme jako nulovou a alternativní. P-value je dosažená hladina významnosti statistického testu a udává, jaké chyby se dopouštíme, pokud zamítneme nulovou hypotézu. Hypotézy byly testovány na hladině významnosti 0,05. Pokud je hodnota p-value nižší než 0,05, pak je možné zamítnout nulovou hypotézu ve prospěch alternativní. Znamená to, že pravděpodobnost, že by porovnávané rozdíly i závislosti vznikly pouze náhodou, je menší než 5 %. Vyjde-li však p-value vyšší, nelze nulovou hypotézu zamítnout.

U obou případových studií bylo zjišťováno, zda data pocházejí z normálního rozdělení. K posouzení normality byl použit Shapiro-Wilkův test normality. Normální rozdělení je totiž nutný předpoklad metody ANOVA (analysis of variance) neboli analýzy rozptylu, která byla následně aplikována. Konkrétně byla použita ANOVA s dvojitým tříděním, která umožňuje ověřit, zda na čas a počet fixací má statisticky významný vliv jejich velikost fontu a barevná vzdálenost. V případě, že nám test ANOVY vyšel průkazně, tedy hodnota p-value nižší než 0,05; můžeme přistoupit k mnohonásobnému porovnání pomocí Tukeyho testu, kde zjistíme, ve které části se velikost fontu a barevná vzdálenost od sebe liší a je tam statisticky významný rozdíl. Výsledkem je grafická reprezentace vzájemných vztahů kategorií obou proměnných.

Pouze u druhé případové studie, kde byla zjišťována i správnost odpovědí respondentů, bylo zjištěno pomocí Shapiro-Wilkova testu normality, že data správných odpovědí nepocházejí z normálního rozdělení a tudíž byl použit neparametrický Kruskal-Wallisův test.

Program SMI BeGaze byl použit pro export fixací, sakád a statisticky naměřených hodnot pomocí funkce Event detailed statistics. BeGaze poskytuje i mnoho nástrojů pro vizualizaci výsledků z eye-trackingu, jako jsou například HeatMap a FocusMap, které kombinují místo pohledu s časem (tedy jak dlouho se respondent díval na dané místo).

6.3.1 Statistické hodnocení

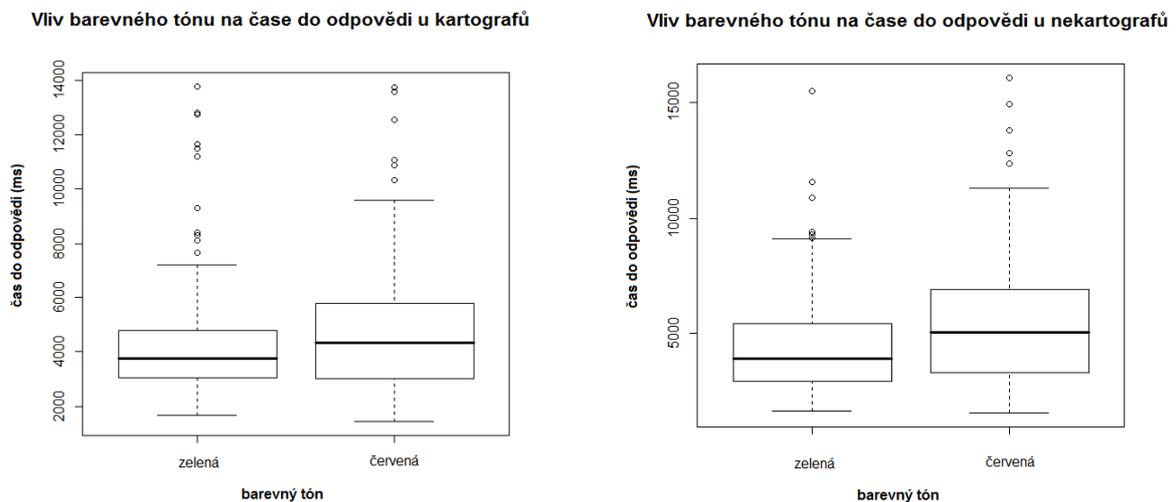
1. První případová studie

První případová studie se zabývala vlivem barevné vzdálenosti a velikosti fontu na čitelnost map. A také, zda odlišný tón barvy má vliv na její čitelnost.

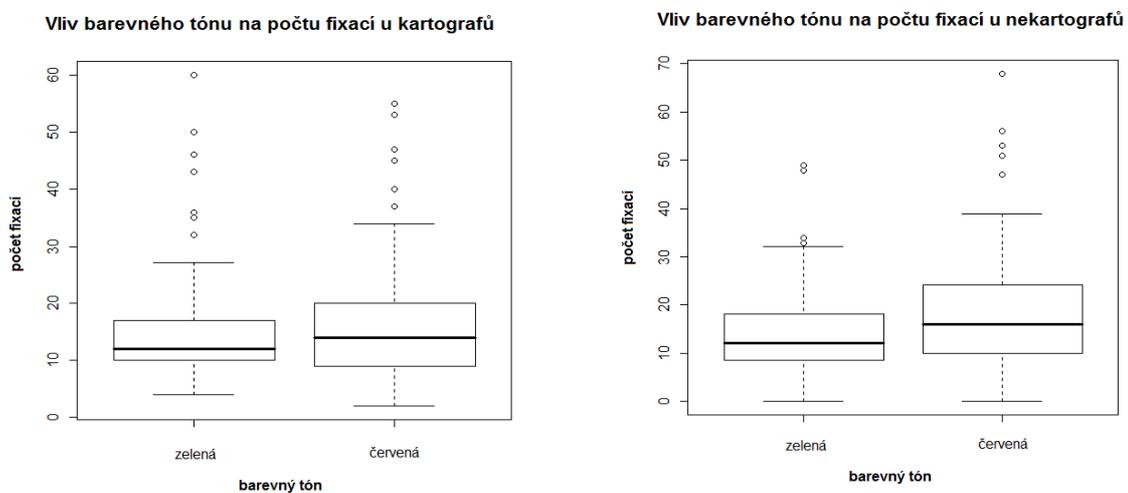
a) popisná statistika

Popisná statistika se zaměřila na to, zda barevný tón mapy je závislý na čase a fixaci. Bylo vybráno 6 náhodných map z první případové studie s tónem červené a zelené (viz. tab. 1). Z obrázků 24 a 25 vidíme, že testovaným z obou skupin trvalo o něco déle zorientovat se v červených mapách než v mapách zelených. Boxploty také ukazují, že skupině nekartografů trvá o něco déle nalezení správných odpovědí a mají větší počet fixací než kartografové.

Boxplot je schéma, které v jednom popisuje maximální a zároveň minimální hodnoty ze souboru naměřených hodnot, dále medián a horní a dolní kvartil tohoto souboru a existenci odlehlých či extrémních hodnot. Na základě vizuální kontroly boxplotu je možné předběžně zhodnotit normalitu rozložení dat ve statistickém souboru. Rozdělení můžeme považovat za normální, pokud je graf symetrický, protože hustota normálního rozdělení je rovněž symetrická. Přesnost tohoto tvrzení je nutné potvrdit statistickým testováním. Vizualizace boxplotu umožňuje posoudit symetrii a variabilitu hodnot v datasetu a existenci extrémních hodnot.



Obr. 24 Boxplot vlivu barevného tónu na čas potřebný k odpovědi



Obr. 25 Boxplot vlivu barevného tónu na celkový počet fixací

b) testování hypotéz

Cílem testování statistických hypotéz je posouzení, zda experimentálně pořízená data vyhovují předpokladu, který byl před provedeným testováním učiněn. Statistickou hypotézu chápeme jako určitý předpoklad o rozdělení náhodných veličin základního souboru.

Na základě výsledků, že data pocházejí z normálního rozdělení, bylo možné použít statistickou metodu ANOVA s dvojitým tříděním, která umožňuje ověřit, zda na hodnotu náhodné veličiny (čas do zodpovězení otázky a celkový počet fixací) má statisticky významný vliv hodnota některého znaku (velikost fontu a barevná vzdálenost). Výstupem ANOVY z programu R jsou výsledky (viz. obr. 26), kde Sum Sq znamená součet čtverců, Df počet stupňů volnosti (DF), Mean Sq průměrnou velikost součtu čtverců, F value je hodnota testovacího kritéria a Pr (>F) je dosažená hladina významnosti p , na které je možné zamítnout hypotézu. Hypotézy byly testovány na hladině významnosti 0,05.

Jakmile výpočet prokáže, že je určitý statistický znak významný (p -value nižší než 0,05), má smysl se ptát, zda se významná odchylka projevuje mezi všemi různými hodnotami znaku, anebo zda se chování náhodných veličin pro některé hodnoty znaku mezi sebou neliší. K tomu účelu se používá tzv. mnohonásobné porovnání pomocí Tukeyho testu. Výstup z programu R (viz. obr. 27) ukazuje, že pokud 0 nepatří do intervalu (lwr, upr), pak existuje statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami uvedené dvojice skupin. Upr je interval spolehlivosti horní hranice, lwr je interval spolehlivosti dolní hranice a diff je rozdíl průměrů mezi nimi. Pokud hodnota p adj je velmi malá, pak jsou rozdíly statisticky významné (tj. zamítáme nulovou hypotézu).

- Vliv barevné vzdálenosti a velikosti fontu na čas do zodpovězení otázky

U skupiny kartografů, kde byl zjišťován vliv na čas do zodpovězení otázky bylo zjištěno, že u kartografů záleží na barevné vzdálenosti a nezáleží na velikosti fontu. Obrázek 26 popisuje, že v posledním sloupci Pr (>F) je hodnota p -value u pole vzdálenost nižší než 0,05; a tudíž je možné nulovou hypotézu zamítnout ve prospěch alternativy a říci, že čas má statisticky významný vliv na barevnou vzdálenost. Naopak font, kde je hodnota ve sloupci Pr (>F) vysoká, se ukázal jako statisticky nevýznamný.

```
> summary(aov.1)
              Df      Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
vzdalenost    4  47220605 11805151  2.7048 0.03001 *
font          2   3280570  1640285  0.3758 0.68695
vzdalenost:font 8   67661482  8457685  1.9378 0.05291 .
Residuals    435 1898577202  4364545
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Obr. 26 Výsledky ANOVY s dvojitým tříděním -
kartografové (čas do zodpovězení otázky)

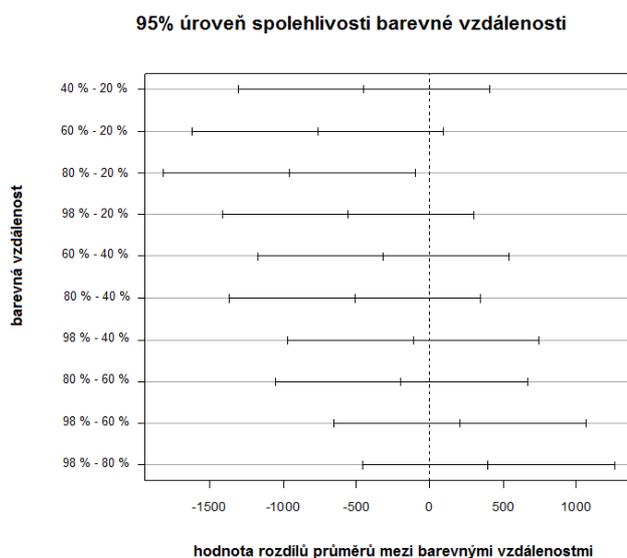
Na základě výsledků z ANOVY bylo zjištěno, že u barevné vzdálenosti, kde je hodnota ve sloupci Pr ($>F$) menší než hladina významnosti 0,05; nulovou hypotézu zamítáme. A na základě předložených dat můžeme říct, že s 95% spolehlivostí má barevná vzdálenost vliv na čas do odpovědi. Tudíž se musí provést Tukeyho metoda vícenásobného porovnání (viz. obr. 27), při níž zjistíme, mezi kterými úrovněmi faktoru nabývají střední hodnoty zkoumané veličiny statisticky významných rozdílů. 0 nepatří do intervalu (lwr, upr) u dvojice barevné vzdálenosti 80 % - 20 %, tzn. že existuje statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami dvojice 80 % - 20 %. Hodnota p adj je velmi malá, ukazuje, že jsou rozdíly mezi dvojicí statisticky významné (tj. zamítáme nulovou hypotézu). Z grafu konfidenčních intervalů (viz. obr. 28) jsou patrné horní hranice a dolní hranice spolehlivosti z výsledků Tukeyho testu. Jestliže čára nepřesahuje přes 0, znamená to, že rozdíly mezi dvojicemi jsou statisticky významné. V našem případě je to dvojice 80 % - 20 %.

```
> TukeyHSD(aov.1)
Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = cas ~ vzdalenost * font, data = data1)

$vzdalenost
      diff      lwr      upr    p adj
40-20 -447.7889 -1300.8804  405.3027 0.6035045
60-20 -763.2556 -1616.3471   89.8360 0.1040771
80-20 -957.8222 -1810.9138 -104.7307 0.0188815
98-20 -556.8667 -1409.9582  296.2249 0.3818231
60-40 -315.4667 -1168.5582  537.6249 0.8493845
80-40 -510.0333 -1363.1249  343.0582 0.4740691
98-40 -109.0778  -962.1693  744.0138 0.9967663
80-60 -194.5667 -1047.6582  658.5249 0.9710695
98-60  206.3889  -646.7027 1059.4804 0.9641782
98-80  400.9556  -452.1360 1254.0471 0.6991135
```

Obr. 27 Výstup z programu R, výsledky Tukeyho testu - kartografové (čas do zodpovězení otázky)



Obr. 28 Grafické znázornění statisticky významných rozdílů Tukeyho testu u kartografů mezi barevnými vzdálenostmi 80 % - 20 %

U skupiny nekartografů, kde byl také zjišťován vliv času do zodpovězení otázky, se obě nezávislé proměnné ukázaly jako statisticky nevýznamné. Hodnota hladiny významnosti p-value byla u velikosti fontu i barevné vzdálenosti vyšší než 0,05. Tudíž u nekartografů nemá barevná vzdálenost ani velikost fontu vliv na čas do odpovědi.

- Vliv barevné vzdálenosti a velikosti fontu na celkový počet fixací

Skupina kartografů i nekartografů, u kterých byl zjišťován vliv na celkový počet fixací se ukázal jako statisticky nevýznamný. I zde bylo na základě výsledků ANOVY zjištěno, že hladina významnosti je vyšší než 0,05. Takže ani u kartografů ani u nekartografů nemá barevná vzdálenost ani velikost fontu vliv na celkový počet fixací.

2. Druhá případová studie

Druhá případová studie se zabývala vlivem barevné vzdálenosti a typu kartografické vizualizace na čitelnost map. Cílem statistické analýzy bylo stanovit hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi.

a) popisná statistika

Popisná statistika se zaměřila na stanovení hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi. Zaměřila se opět na skupiny kartografů a nekartografů, procentuální počet jejich správných odpovědí v každé mapě a jejich celkový průměr.

Vyhodnocení tabulek ukázalo, že u map s barevnou vzdáleností 15 % – 20 % byla zaznamenána největší pravděpodobnost úspěchu u obou testovaných skupin respondentů (viz. tab. 4 a 5). Vyplývá to z průměrného počtu správných odpovědí, který je u těchto barevných vzdáleností nejvyšší v porovnání s ostatními mapami. Na základě testování můžeme říct, že hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi je v rozmezí 15 % – 20 %.

Původní předpoklad, že pouze správně sestavená barevná stupnice přinese vysoký počet správných odpovědí, se nepodařilo potvrdit. Velmi vysoký počet správných odpovědí má i mapa se špatnou stupnicí, tzv. propadáním barev.

Tabulka 4 a 5 nám popisuje, že ve všech případech měli kartografové větší úspěšnost odpovědí než ostatní.

Tab. 4 Pravděpodobnost úspěchů u kartografů

Barevná vzdálenost						
Typ kartografické vizualizace	5%	10%	15%	20%	25%	Ø celkem
mapy s kvantitativní metodou	60%	66,7%	90%	90%	96,7%	81%
mapy s kvalitativní metodou	56,7%	66,7%	96,7%	96,7%	33,3%	70%
špatně sestavená barevná stupnice		93,3%	80%	83,3%		85,6%
správně sestavená barevná stupnice		60%	96,7%	86,7%		81,1%
kartodiagram	50%	70%	90%	100%	93,3%	81%
Ø celkem	55,6%	71,3%	90,7%	91,3%	74,4%	

Tab. 5 Pravděpodobnost úspěchů u nekartografů

Barevná vzdálenost						
Typ kartografické vizualizace	5%	10%	15%	20%	25%	Ø celkem
mapy s kvantitativní metodou	50%	65%	80%	75%	80%	70%
mapy s kvalitativní metodou	70%	60%	95%	100%	5%	66%
špatně sestavená barevná stupnice		90%	70%	60%		73%
správně sestavená barevná stupnice		20%	95%	60%		58%
kartodiagram	30%	75%	70%	95%	85%	71%
Ø celkem	50%	62%	82%	78%	57%	

b) testování hypotéz

Na druhou případovou studii, má-li vliv barevné vzdálenosti a typ kartografické vizualizace na čitelnost, byla použita statistická metoda ANOVA s dvojitým tříděním a neparametrický Kruskal-Wallisův test, který byl použit u správných odpovědí. Na jeho základě byla testována hypotéza, zda všechny výběry pochází z téhož rozdělení. Zamítáme-li hypotézu, znamená to, že tvrdíme, že všechny výběry nepocházejí z téhož rozdělení.

- Vliv barevné vzdálenosti a typ kartografické vizualizace na čas do zodpovězení otázky

U skupin kartografů i nekartografů, u kterých byl zjišťován vliv času do zodpovězení otázky, bylo na základě výsledků ANOVY zjištěno, že u obou skupin záleží na barevné vzdálenosti a typu kartografické vizualizace. Na obrázcích 29 a 30 vidíme, že v posledním sloupci Pr (>F) je hodnota p-value nižší než 0,05; a tudíž je možné nulovou hypotézu zamítnout ve prospěch alternativy a říci, že čas má statisticky významný vliv na barevnou vzdálenost a typ kartografické vizualizace.

```
> summary(aov.1)
          Df      Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
vzdalenost  4 526204828 131551207  9.7910 1.111e-07 ***
mapa        4  368339075  92084769  6.8536 2.122e-05 ***
vzdalenost:mapa 12 671387818 55948985  4.1641 2.645e-06 ***
Residuals   609 8182450932 13435880
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Obr. 29 Výsledky ANOVY s dvojitým tříděním - kartografové (čas do zodpovězení otázky)

```
> summary(aov.4)
          Df      Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
vzdalenost  4 508802676 127200669  7.0668 1.666e-05 ***
mapa        4 404965054 101241263  5.6246 0.0002059 ***
vzdalenost:mapa 12 740108132 61675678  3.4265 8.316e-05 ***
Residuals   399 7181917702 17999794
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Obr. 30 Výsledky ANOVY s dvojitým tříděním - nekartografové (čas do zodpovězení otázky)

Na základně zamítnutí nulových hypotéz byl proveden Tukeyho test vícenásobného porovnání (viz. obr. 31) a graf konfidenčních intervalů (viz. obr. 32), kde bylo zjištěno, že u kartografů dvojice barevných vzdáleností a dvojice typů kartografických vizualizací vykazují statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami (viz. tab. 6 a 7).

Tab. 6 a 7 Dvojice vykazující statisticky významný rozdíl u kartografů

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
5 %	X		✓	✓	
10 %		X	✓		
15 %	✓	✓	X		✓
20 %	✓			X	✓
25 %			✓	✓	X

Typ kartografické vizualizace	mapy s kvantitativní metodou	mapy s kvalitativní metodou	špatně sestavená barevná stupnice	správně sestavená barevná stupnice	kartodiagram
mapy s kvantitativní metodou	X	✓			
mapy s kvalitativní metodou	✓	X	✓	✓	
špatně sestavená barevná stupnice		✓	X		✓
správně sestavená barevná stupnice		✓		X	✓
kartodiagram			✓	✓	X

```

> TukeyHSD(aov.1)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

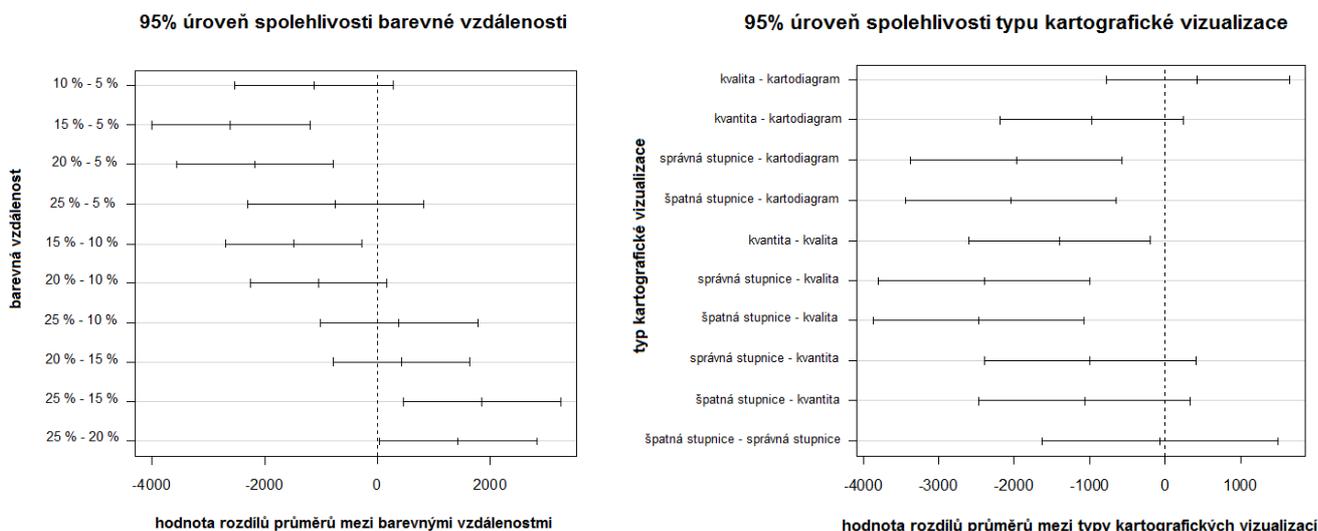
Fit: aov(formula = cas ~ vzdalenost * mapa, data = data1)

$vzdalenost
      diff      lwr      upr    p adj
10-5 -1129.4244 -2466.5827  207.7338 0.1427451
15-5 -2606.2178 -3943.3761 -1269.0595 0.0000014
20-5 -2176.5444 -3513.7027 -839.3862 0.0000981
25-5  -747.0667 -2242.0551  747.9217 0.6489646
15-10 -1476.7933 -2634.8064 -318.7803 0.0047089
20-10 -1047.1200 -2205.1330  110.8930 0.0979292
25-10   382.3578  -954.8005  1719.5161 0.9356982
20-15   429.6733  -728.3397  1587.6864 0.8484069
25-15  1859.1511   521.9928  3196.3094 0.0014694
25-20  1429.4778   92.3195  2766.6361 0.0293126

$mapa
      diff      lwr      upr    p adj
kvalita-kartodiagram    424.84667  -733.1664  1582.859708 0.8536504
kvantita-kartodiagram  -974.39333  -2132.4064  183.619708 0.1455371
stupnice-ano-kartodiagram -1328.74178 -2665.9001   8.416505 0.0523880
stupnice-ne-kartodiagram -1400.89733 -2738.0556  -63.739051 0.0347320
kvantita-kvalita      -1399.24000 -2557.2530 -241.226959 0.0088505
stupnice-ano-kvalita  -1753.58844 -3090.7467  -416.430162 0.0033018
stupnice-ne-kvalita  -1825.74400 -3162.9023  -488.585718 0.0019081
stupnice-ano-kvantita  -354.34844 -1691.5067  982.809838 0.9506902
stupnice-ne-kvantita  -426.50400 -1763.6623  910.654282 0.9068641
stupnice-ne-stupnice-ano  -72.15556 -1567.1440  1422.832853 0.9999314

```

Obr. 31 Výstup z programu R, výsledky Tukeyho testu - kartografové (čas do zodpovězení otázky)



Obr. 32 Grafické znázornění statisticky významných rozdílů Tukeyho testu u kartografů (Ukazuje horní a dolní hranice spolehlivosti. Jestliže čára nepřesahuje přes 0, znamená to, že rozdíl mezi dvojicemi jsou statisticky významné.)

I u skupiny nekartografů bylo na základě výsledků ANOVY zjištěno, že vliv barevné vzdálenosti a typ kartografické vizualizace má statisticky významný vliv na čas potřebný k odpovědi. Byl proveden Tukeyho test (viz. obr. 33) a graf konfidenčních intervalů (viz. obr. 34) a zjištěny dvojice, které vykazují statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami (viz. tab. 8 a 9).

Tab. 8 a 9 Dvojice vykazující statisticky významný rozdíl u nekartografů

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
5 %	X		✓	✓	
10 %		X			
15 %	✓		X		
20 %	✓			X	
25 %					X

Typ kartografické vizualizace	mapy s kvantitativní metodou	mapy s kvalitativní metodou	špatně sestavená barevná stupnice	správně sestavená barevná stupnice	kartodiagram
mapy s kvantitativní metodou	X			✓	
mapy s kvalitativní metodou		X		✓	
špatně sestavená barevná stupnice			X		
správně sestavená barevná stupnice	✓	✓		X	✓
kartodiagram				✓	X

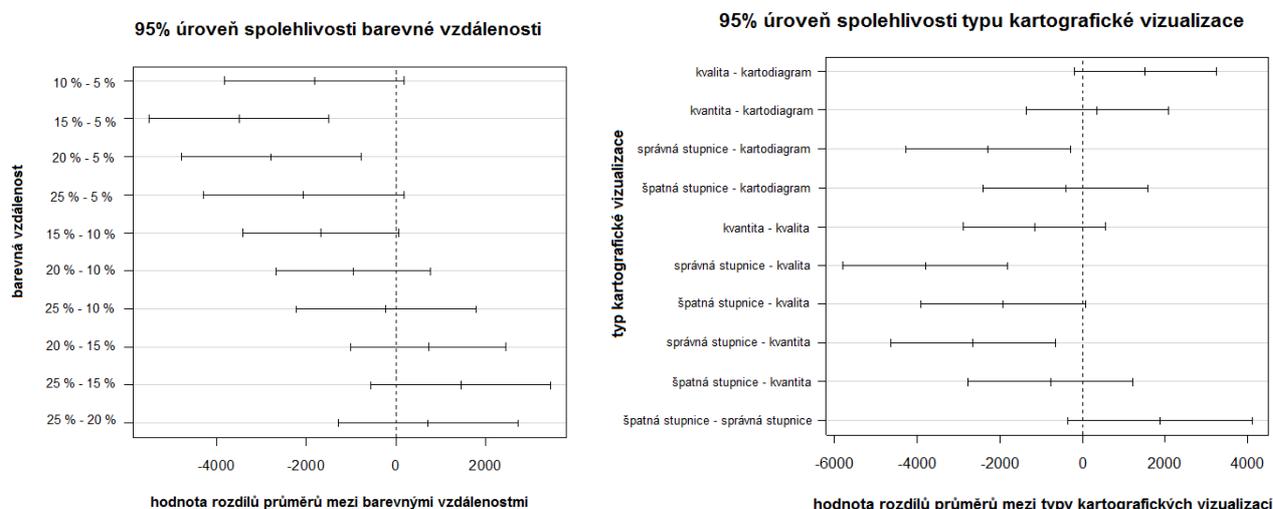
```
> TukeyHSD(aov.1)
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = cas ~ vzdalenost * mapa, data = data1)

$vzdalenost
      diff      lwr      upr    p adj
10-5   -1825.367 -3723.8868   73.15349 0.0661070
15-5   -3504.007 -5402.5268 -1605.48651 0.0000064
20-5   -2778.077 -4676.5968 -879.55651 0.0006895
25-5   -2060.717 -4183.3267   61.89340 0.0618382
15-10  -1678.640 -3322.8067  -34.47332 0.0427236
20-10  -952.710 -2596.8767  691.45668 0.5060512
25-10  -235.350 -2133.8702  1663.17016 0.9971277
20-15   725.930  -918.2367  2370.09668 0.7456660
25-15  1443.290  -455.2302  3341.81016 0.2293560
25-20   717.360 -1181.1602  2615.88016 0.8388031

$mapa
      diff      lwr      upr    p adj
kvalita-kartodiagram  1516.7300 -127.4367  3160.89668 0.0865449
kvantita-kartodiagram  362.5200 -1281.6467  2006.68668 0.9743902
stupnice-ano-kartodiagram -1617.2533 -3515.7735   281.26682 0.1362601
stupnice-ne-kartodiagram  260.8133 -1637.7068  2159.33349 0.9957209
kvantita-kvalita      -1154.2100 -2798.3767   489.95668 0.3063981
stupnice-ano-kvalita  -3133.9833 -5032.5035 -1235.46318 0.0000784
stupnice-ne-kvalita   -1255.9167 -3154.4368   642.60349 0.3675789
stupnice-ano-kvantita -1979.7733 -3878.2935   -81.25318 0.0361279
stupnice-ne-kvantita  -101.7067 -2000.2268  1796.81349 0.9998953
stupnice-ne-stupnice-ano  1878.0667 -244.5434  4000.67673 0.1108833
```

Obr. 33 Výstup z programu R, výsledky Tukeyho testu - nekartografové (čas do zodpovězení otázky)



Obr. 34 Grafické znázornění statisticky významných rozdílů Tukeyho testu u nekartografů

- Vliv barevné vzdálenosti a typ kartografické vizualizace na celkový počet fixací

U skupin kartografů i nekartografů, u kterých byl zjišťován vliv na celkový počet fixací, bylo na základě výsledků ANOVY zjištěno, že u obou skupin záleží na barevné vzdálenosti a typu kartografické vizualizace. Na obrázcích 35 a 36 vidíme, že v posledním sloupci Pr (>F) je hodnota p-value nižší než 0,05; a tudíž je možné nulovou hypotézu zamítnout ve prospěch alternativy a říci, že celkový počet fixací má statisticky významný vliv na barevnou vzdálenost a typ kartografické vizualizace.

```
> summary(aov.7)
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
vzdalenost  4  4311  1077.79   6.6803 2.891e-05 ***
mapa        4  8413  2103.31  13.0367 3.416e-10 ***
vzdalenost:mapa 12  6355   529.58   3.2824 0.0001282 ***
Residuals   609  98255   161.34
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Obr. 35 Výsledky ANOVY s dvojitým tříděním - kartografové (celkový počet fixací)

```
> summary(aov.10)
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
vzdalenost  4  5659  1414.80   5.3639 0.0003239 ***
mapa        4  9657  2414.28   9.1531 4.398e-07 ***
vzdalenost:mapa 12  8313   692.78   2.6265 0.0021794 **
Residuals   399 105242   263.77
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Obr. 36 Výsledky ANOVY s dvojitým tříděním - nekartografové (celkový počet fixací)

Následně byl u kartografů proveden Tukeyho test (viz. obr. 37) a graf konfidenčních intervalů (viz. obr. 38), kde bylo zjištěno, které dvojice barevných vzdáleností a které dvojice typu kartografické vizualizace (viz. tab. 10 a 11) vykazují statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami.

Tab. 10 a 11 Dvojice vykazující statisticky významný rozdíl u kartografů

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
5 %	X		✓	✓	
10 %		X			
15 %	✓		X		✓
20 %	✓			X	✓
25 %			✓	✓	X

Typ kartografické vizualizace	mapy s kvantitativní metodou	mapy s kvalitativní metodou	špatně sestavená barevná stupnice	správně sestavená barevná stupnice	kartodiagram
mapy s kvantitativní metodou	X	✓			
mapy s kvalitativní metodou	✓	X	✓	✓	✓
špatně sestavená barevná stupnice		✓	X		
správně sestavená barevná stupnice		✓		X	
kartodiagram		✓			X

```

> TukeyHSD(aov.7)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

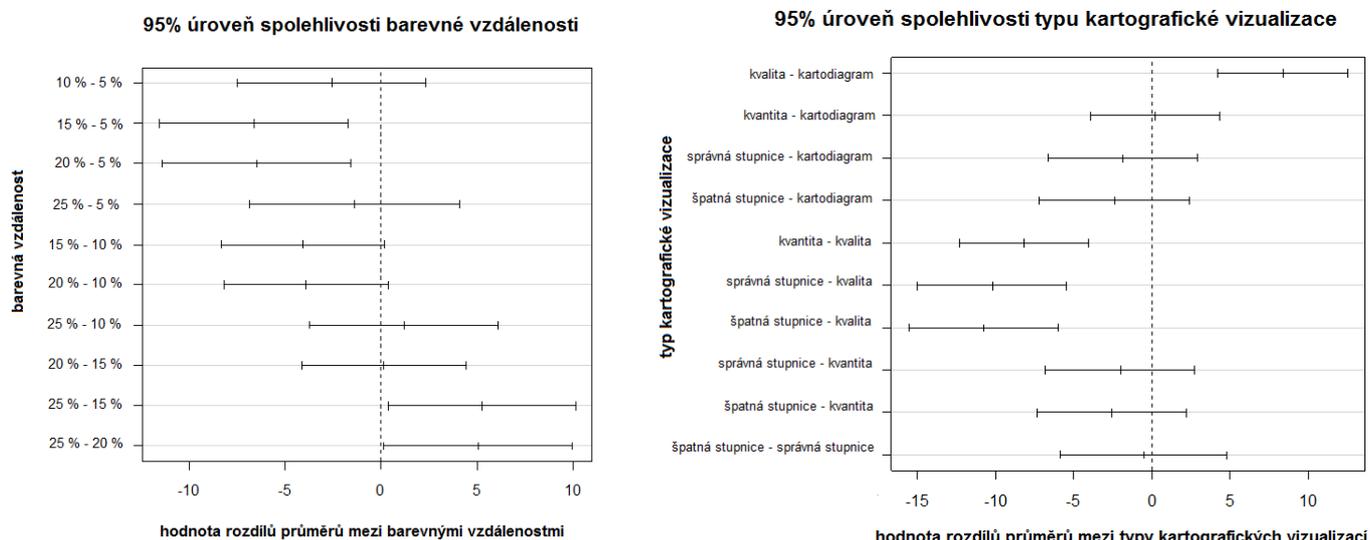
Fit: aov(formula = fixace ~ vzdalenost * mapa, data = data7)

$vdzalenost
      diff      lwr      upr    p adj
10-5  -2.571111  -7.2047030  2.06248079 0.5510197
15-5  -6.631111 -11.2647030 -1.99751921 0.0009504
20-5  -6.471111 -11.1047030 -1.83751921 0.0013763
25-5  -1.388889  -6.5694021  3.79162434 0.9486311
15-10 -4.060000  -8.0728083 -0.04719170 0.0457841
20-10 -3.900000  -7.9128083  0.11280830 0.0614197
25-10  1.182222  -3.4513697  5.81581412 0.9568879
20-15  0.160000  -3.8528083  4.17280830 0.9999680
25-15  5.242222   0.6086303  9.87581412 0.0174921
25-20  5.082222   0.4486303  9.71581412 0.0233785

$mapa
      diff      lwr      upr    p adj
kvalita-kartodiagram    8.37333333  4.360525 12.386142 0.0000002
kvantita-kartodiagram    0.17333333 -3.839475  4.186142 0.9999560
stupnice-ano-kartodiagram -0.04133333 -4.674925  4.592259 0.9999999
stupnice-ne-kartodiagram -0.58577778 -5.219370  4.047814 0.9969238
kvantita-kvalita        -8.20000000 -12.212808 -4.187192 0.0000003
stupnice-ano-kvalita     -8.41466667 -13.048259 -3.781075 0.0000087
stupnice-ne-kvalita     -8.95911111 -13.592703 -4.325519 0.0000017
stupnice-ano-kvantita    -0.21466667 -4.848259  4.418925 0.9999418
stupnice-ne-kvantita     -0.75911111 -5.392703  3.874481 0.9916453
stupnice-ne-stupnice-ano -0.54444444 -5.724958  4.636069 0.9985053

```

Obr. 37 Výstup z programu R, výsledky Tukeyho testu - kartografové (celkový počet fixací)



Obr. 38 Grafické znázornění statisticky významných rozdílů Tukeyho testu u kartografů (Ukazuje horní a dolní hranice spolehlivosti. Jestliže čára nepřesahuje přes 0, znamená to, že rozdíl mezi dvojicemi jsou statisticky významné.)

U skupiny nekartografů bylo na základě výsledků ANOVY zjištěno, že celkový počet fixací má statisticky významný vliv na barevnou vzdálenost a typ kartografické vizualizace. Byl proveden Tukeyho test (viz. obr. 39) a graf konfidenčních intervalů (viz. obr. 40) a zjištěno, ve které části se barevná vzdálenost a typ kartografické vizualizace od sebe liší. Dvojice, vykazující statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami (viz. tab. 12 a 13).

Tab. 12 a 13 Dvojice vykazující statisticky významný rozdíl u nekartografů

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
5 %	X		✓	✓	
10 %		X			
15 %	✓		X		
20 %	✓			X	
25 %					X

Typ kartografické vizualizace	mapy s kvantitativní metodou	mapy s kvalitativní metodou	špatně sestavená barevná stupnice	správně sestavená barevná stupnice	kartodiagram
mapy s kvantitativní metodou	X	✓		✓	
mapy s kvalitativní metodou	✓	X	✓	✓	✓
špatně sestavená barevná stupnice		✓	X		
správně sestavená barevná stupnice	✓	✓		X	
kartodiagram		✓			X

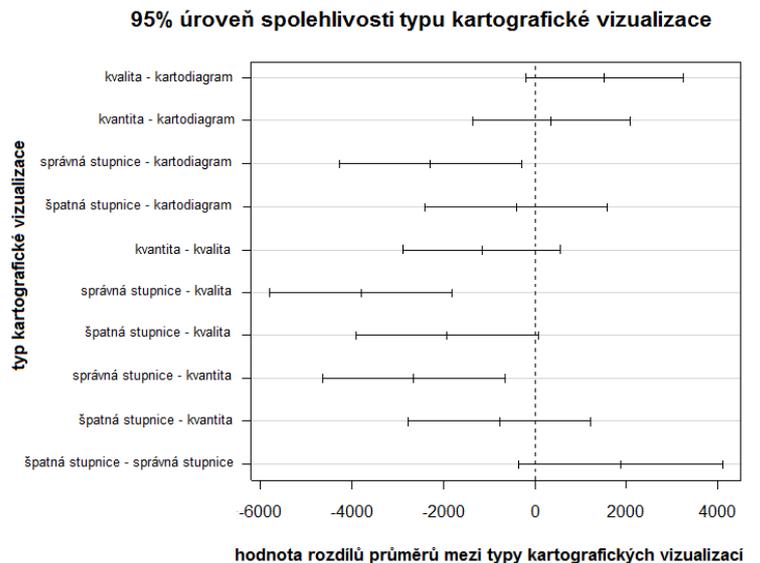
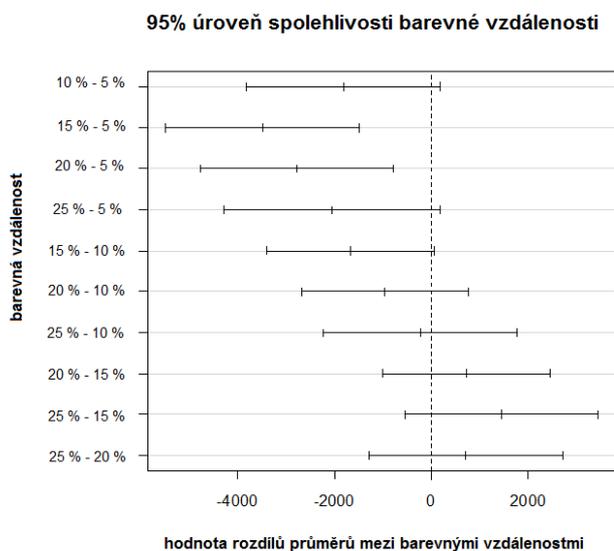
```
> TukeyHSD(aov.10)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = fixace ~ vzdalenost * mapa, data = data10)

$vdalenost
      diff      lwr      upr      p adj
10-5    -6.823333 -14.090924  0.4442576 0.0774066
15-5   -11.463333 -18.730924 -4.1957424 0.0001889
20-5   -10.163333 -17.430924 -2.8957424 0.0013828
25-5    -7.333333 -15.458747  0.7920804 0.0988429
15-10   -4.640000 -10.933918  1.6539184 0.2581585
20-10   -3.340000  -9.633918  2.9539184 0.5929131
25-10   -0.510000  -7.777591  6.7575909 0.9996940
20-15    1.300000  -4.993918  7.5939184 0.9798692
25-15    4.130000  -3.137591 11.3975909 0.5258422
25-20    2.830000  -4.437591 10.0975909 0.8233232

$mapa
      diff      lwr      upr      p adj
kvalita-kartodiagram  10.88000000  4.586082 17.1739184 0.0000297
kvantita-kartodiagram  2.84000000  -3.453918  9.1339184 0.7299876
stupnice-ano-kartodiagram -3.05666667 -10.324258  4.2109243 0.7782642
stupnice-ne-kartodiagram  2.77666667  -4.490924 10.0442576 0.8332403
kvantita-kvalita      -8.04000000 -14.333918 -1.7460816 0.0046764
stupnice-ano-kvalita  -13.93666667 -21.204258 -6.6690757 0.0000024
stupnice-ne-kvalita   -8.10333333 -15.370924 -0.8357424 0.0201757
stupnice-ano-kvantita  -5.89666667 -13.164258  1.3709243 0.1731681
stupnice-ne-kvantita   -0.06333333  -7.330924  7.2042576 0.9999999
stupnice-ne-stupnice-ano  5.83333333  -2.292080 13.9587470 0.2840003
```

Obr. 39 Výstup z programu R, výsledky Tukeyho testu - nekartografové (celkový počet fixací)



Obr. 40 Grafické znázornění statisticky významných rozdílů Tukeyho testu u nekartografů

- Vliv barevné vzdálenosti a typ kartografické vizualizace na celkový počet správných odpovědí

Pouze u druhé případové studie, kde byla zjišťována i správnost odpovědí respondentů bylo zjištěno, že data správných odpovědí nepocházejí z normálního rozdělení a tudíž musel být použit Kruskal-Wallisův test, který je neparametrickou obdobou analýzy rozptylu jednoduchého třídění. Slouží k ověření nulové hypotézy.

Na základě Kruskal-Wallisova testu (viz. obr. 41) byla testována hypotéza, že všechny výběry pochází z téhož rozdělení. Zamítáme-li hypotézu, znamená to, že tvrdíme, že všechny výběry nepocházejí z téhož rozdělení.

Test u obou skupin ukázal, že hypotézu o tom, zda výběry pocházejí ze stejného rozdělení zamítáme. Znamená to, že správnost odpovědí ovlivňuje barevná vzdálenost.

U kartografů byly zjištěny dvojice, které vykazují statisticky významný rozdíl u barevných vzdáleností (viz. tab. 14). U nekartografů to byly dvojice, které ukazuje tabulka 15. U typu kartografické vizualizace u obou skupin nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl.

Tab. 14 a 15 Nalevo jsou dvojice vykazující statisticky významný rozdíl u kartografů a napravo u nekartografů

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
5 %	X		✓	✓	
10 %		X	✓	✓	
15 %	✓	✓	X		
20 %	✓	✓		X	
25 %					X

Barevná vzdálenost	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
5 %	X		✓	✓	
10 %		X			
15 %	✓		X		
20 %	✓			X	
25 %					X

```

> kruskal.test(odpoved~vzdalenost*mapa,data=data1)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: odpoved by vzdalenost by mapa
Kruskal-Wallis chi-squared = 61.9741, df = 4, p-value = 1.115e-12

> kruskalmc(odpoved~vzdalenost,data=data1)
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
  obs.dif critical.dif difference
5-10    49.7    68.12095    FALSE
5-15   110.6    68.12095     TRUE
5-20   112.7    68.12095     TRUE
5-25    59.5    76.16154    FALSE
10-15   60.9    58.99447     TRUE
10-20   63.0    58.99447     TRUE
10-25    9.8    68.12095    FALSE
15-20    2.1    58.99447    FALSE
15-25   51.1    68.12095    FALSE
20-25   53.2    68.12095    FALSE

> kruskalmc(odpoved~mapa,data=data1)
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
      obs.dif critical.dif difference
kartodiagram-kvalita      33.6    58.99447    FALSE
kartodiagram-kvantita      0.0    58.99447    FALSE
kartodiagram-stupnice-ano    1.4    68.12095    FALSE
kartodiagram-stupnice-ne   15.4    68.12095    FALSE
kvalita-kvantita          33.6    58.99447    FALSE
kvalita-stupnice-ano      35.0    68.12095    FALSE
kvalita-stupnice-ne       49.0    68.12095    FALSE
kvantita-stupnice-ano      1.4    68.12095    FALSE
kvantita-stupnice-ne      15.4    68.12095    FALSE
stupnice-ano-stupnice-ne   14.0    76.16154    FALSE

> kruskal.test(odpoved~vzdalenost*mapa,data=data3)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: odpoved by vzdalenost by mapa
Kruskal-Wallis chi-squared = 27.7088, df = 4, p-value = 1.429e-05

> kruskalmc(odpoved~vzdalenost,data=data3)
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
  obs.dif critical.dif difference
5-10    25.2    55.64256    FALSE
5-15    67.2    55.64256     TRUE
5-20    58.8    55.64256     TRUE
5-25    14.0    62.21027    FALSE
10-15   42.0    48.18787    FALSE
10-20   33.6    48.18787    FALSE
10-25   11.2    55.64256    FALSE
15-20    8.4    48.18787    FALSE
15-25   53.2    55.64256    FALSE
20-25   44.8    55.64256    FALSE

> kruskalmc(odpoved~mapa,data=data3)
Multiple comparison test after Kruskal-Wallis
p.value: 0.05
Comparisons
      obs.dif critical.dif difference
kartodiagram-kvalita      10.5    48.18787    FALSE
kartodiagram-kvantita      2.1    48.18787    FALSE
kartodiagram-stupnice-ano  26.6    55.64256    FALSE
kartodiagram-stupnice-ne   4.9    55.64256    FALSE
kvalita-kvantita           8.4    48.18787    FALSE
kvalita-stupnice-ano      16.1    55.64256    FALSE
kvalita-stupnice-ne       15.4    55.64256    FALSE
kvantita-stupnice-ano      24.5    55.64256    FALSE
kvantita-stupnice-ne       7.0    55.64256    FALSE
stupnice-ano-stupnice-ne  31.5    62.21027    FALSE

```

Obr. 41 Nalevo jsou výsledky Kruskal-Wallisova testu u kartografů
a napravo výsledky u nekartografů

6.3.2 Souhrnné hodnocení

Dle výsledků první případové studie lze říci, že tón barvy má vliv na čas do zodpovězení otázky a na celkový počet fixací u obou testovaných skupin respondentů (kartografové a nekartografové). Bylo zjištěno, že testovaným z obou skupin trvalo o něco déle se zorientovat v červených mapách než v mapách zelených. A také se naplnil předpoklad, že nakartografům bude o něco déle trvat nalezení správných odpovědí a budou mít větší počet fixací.

U skupiny kartografů, kde byl zjišťován vliv času do odpovědi bylo zjištěno, že u kartografů záleží na barevné vzdálenosti. Takže barevná vzdálenost má statisticky významný vliv na čas potřebný k odpovědi. Naopak velikost fontu se ukázala jako statisticky nevýznamná. U nekartografů bylo zjištěno, že nezáleží ani na barevné vzdálenosti ani na velikosti fontu.

Dále byl zjišťován vliv na celkový počet fixací, který se ukázal jako statisticky nevýznamný. Takže ani u kartografů ani u nekartografů na barevné vzdálenosti ani na velikosti fontu nezáleží.

Na základě výsledků druhé případové studie můžeme říct, že hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi je v rozmezí 15% - 20%. V tomto rozmezí byla největší pravděpodobnost úspěchu.

Původní předpoklad, že pouze správně sestavená barevná stupnice přinese vysoký počet správných odpovědí, se nepodařilo potvrdit. Velmi vysoký počet správných odpovědí má i mapa se špatnou stupnicí, tzv. propadáním barev.

U obou testovaných skupin bylo zjištěno, že barevná vzdálenost a typ kartografické vizualizace má statisticky významný vliv na čas potřebný k odpovědi a na počet fixací. Dále byla zjišťována i správnost odpovědí, kde se ukázalo že správnost odpovědí ovlivňuje barevná vzdálenost.

Při porovnání testovaných kartografů s ostatními lze konstatovat, že ve všech případech měli kartografové větší počet správných odpovědí než ostatní.

Nebyly zkoumány vztahy mezi počtem správných odpovědí a pohlavím respondentů. V dříve prováděných studiích se neprokázaly statisticky významné rozdíly mezi muži a ženami. Lze tedy předpokládat, že kartografická gramotnost mužů a žen se neliší.

7 VÝSLEDKY

Hlavním výsledkem bakalářské práce je zhodnotit vliv použitých barev a barevných kombinací na čitelnost informací na digitálních mapách, textová část a její přílohy a www stránky o bakalářské práci.

V praktické části byla testována čitelnost barev na digitálních mapách pomocí přístroje eye-tracking, na kterém bylo spuštěno celkem 42 otázek. Výsledky jsou založeny na odpovědích 50 respondentů jak z řad studentů geoinformatiky, tak i laické veřejnosti.

Analýzou získaných výsledků první případové studie bylo zjištěno, že tón barvy má vliv na čas do zodpovězení otázky a na počet fixací u obou testovaných skupin respondentů. Statistickými výpočty bylo zjištěno, že u kartografů má barevná vzdálenost statisticky významný vliv na čas potřebný k odpovědi. Naopak velikost fontu se ukázala jako statisticky nevýznamná. Oproti tomu u nekartografů se prokázalo, že barevná vzdálenost ani velikost fontu nemá vliv na čas potřebný k odpovědi. Dále byl zjišťován vliv na celkový počet fixací, který se ukázal u obou skupin jako statisticky nevýznamný, takže na barevné vzdálenosti ani na velikosti fontu nezáleží.

Z výsledků druhé případové studie vyplynulo, že hranice mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi je v rozmezí 15% - 20%. V tomto rozmezí byla největší pravděpodobnost úspěchu. Dále bylo zjištěno, že barevná vzdálenost a typ kartografické vizualizace má u obou skupin respondentů statisticky významný vliv na čas potřebný k odpovědi a na počet fixací. Byly sledovány také odpovědi, při nichž se ukázalo, že jejich správnost ovlivňuje barevná vzdálenost.

Při porovnání testovaných kartografů s ostatními lze konstatovat, že ve všech případech měli kartografové větší počet správných odpovědí než ostatní. A také byl potvrzen předpoklad, že nekartografům, neboli laické veřejnosti trvalo o něco déle nalezení správných odpovědí a také měli větší počet fixací.

Textová část obsahuje řešerše zaměřené na podobnou problematiku, jako je zadané téma bakalářské práce (hodnocení vlivu barev na čitelnost digitálních map) a část, která se věnuje technologii eye-tracking, jež do oblasti výzkumu přinesla řadu nových poznatků.

O bakalářské práci byly vytvořené www stránky dostupné ze stránek Katedry geoinformatiky. Obsahem těchto stránek je stručná charakteristika bakalářské práce (cíle, postup, metody, výsledky).

8 DISKUZE

Cílem bakalářské práce je zhodnotit vliv použitých barev a barevných kombinací na čitelnost informací na digitálních mapách.

Na samém začátku této práce bylo nejdůležitějším úkolem zvolit vhodnou metodu pro hodnocení čitelnosti barev v mapách. Po jejím zvolení bylo vytvořeno 42 map.

Testování bylo prováděno v současné době jednou z nejmodernějších technologií, která do oblasti výzkumu přinesla řadu nových poznatků o tom, jakým způsobem lidé vnímají mapy, jak rychle se v nich orientují a popřípadě na co kladou při hledání v mapě největší důraz. Původní snahou bylo otestovat čitelnost digitálních map i na jiném druhu monitoru, ale z důvodů časové náročnosti muselo být od tohoto záměru upuštěno.

Jednou z částí práce bylo testování, kterým se zjišťovalo zda byly předkládané ukázky vlivu použití barev na čitelnost map respondenty správně interpretovány a zda z nich byli schopni získat požadované informace. Testování, které bylo provedeno pomocí přístroje eye-tracking, se zúčastnilo 50 respondentů jak z řad studentů katedry geoinformatiky (kartografové), tak i studentů vysokých a středních škol. Využití této technologie v kartografii přináší nový pohled na interakci mezi uživatelem a mapou.

System od SMI, který máme na katedře, je stále ve vývoji a potýká se s řadou uživatelských nepříjemností. Jednou z nich je nezaznamenávání kliků nebo ztráta očního kontaktu. Vývojáři se stále snaží ladit chyby, ale jelikož okruh uživatelů není tak velký, trvá jim to déle. Chyby byly způsobeny hlavně instalací chybné aktualizace softwaru, což způsobilo problémy a časové ztráty. Další chybou byla ztráta očního kontaktu, která bývá zpravidla způsobena únavou, roztěkaností, smíchem a také brýlemi nebo čočkami u testovaných respondentů.

Datové sady vzniklé jako výstupy z realizace metody eye-trackingu jsou téměř vždy velmi objemné, což omezuje možnosti jejich vizualizace hlavně prostřednictvím metody ScanPath, u které dochází při zobrazování objemnějších datových sad k překryvům, a následné nemožnosti interpretace výsledků. Příčinou tohoto problému je zobrazování trojdimenzionálních dat (x, y, čas) do dvourozměrného prostoru (x, y). Možným řešením je zanedbání časové složky a dvourozměrná data pak zobrazit pomocí metody HeatMap, kdy je zobrazen pouze počet fixací bez jejich pořadí. Ztráta této informace však může v mnoha případech znemožnit analýzu výsledků.

Prostřednictvím statistických nástrojů bylo také prokázáno, že se liší výsledky kartografů v porovnání s nekartografy, kde kartografové měli větší počet správných odpovědí a menší počet fixací. Pro zvýšení kartografické gramotnosti by tedy bylo dobré, aby byla mapa nejen užitečným nástrojem pro poznávání okolí, ale také součástí volnočasových aktivit. Bylo také zjištěno, že tón barvy má vliv na čas potřebný do odpovědi a na počet fixací u obou testovaných skupin respondentů, což je způsobeno subjektivními barevnými vjemy, podněty a podrážděním sítnice, její únavou a citlivostí na barvy. Z výsledků také vyplynulo, že největší pravděpodobnost úspěchu mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi je v rozmezí 15% - 20%. Byl zde zaznamenán největší počet správných odpovědí. Vztah mezi pohlavím a počtem

správných odpovědí nebyl zkoumán, neboť nebyly předpokládány významné rozdíly. Se získaným souborem odpovědí by bylo nadále možné provádět další statistické analýzy, a to zřejmě i pomocí náročnějších nástrojů. V tomto ohledu se nabízí ještě široké možnosti zkoumání těchto dat. Další úhel pohledu na tuto problematiku by poskytli odborníci z řad psychologů, se kterými kartografové často spolupracují při zkoumání mapové komunikace.

Statistické analýzy vyhodnocující vliv barev na čitelnost digitálních map testovanými osobami by mohly dále sloužit autorům kartografických děl a mohly by se také aplikovat na klasické mapy, kde se barvy mění mnohem častěji a výrazněji.

9 ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo zhodnotit vliv použitých barev a barevných kombinací na čitelnost informací na digitálních mapách. Pro tento účel byl sestaven experiment na přístroji eye-tracking.

Na samém začátku této práce bylo potřeba zvolit vhodnou metodu pro hodnocení čitelnosti barev v mapách. Na základě této metody bylo vytvořeno celkem 42 otázek obsahujících dvě případové studie. První se zabývala vlivem barevné vzdálenosti a velikosti fontu na čitelnost map a druhá vlivem barevné vzdálenosti a typu kartografické vizualizace na čitelnost. Testování, které bylo provedeno pomocí přístroje eye-tracking, se zaměřilo jak na studenty katedry geoinformatiky (kartografové), tak i studenty vysokých a středních škol (laická veřejnost). Celkem bylo otestováno 50 respondentů.

Dílním výstupem jsou výsledky získané testováním, které byly dále vyhodnoceny pomocí statistických metod, konkrétně byl použit Shapiro-Wilkův test normality, ANOVA s dvojitým tříděním a neparametrický Kruskal-Wallisův test.

Na základě výsledků pak byly vysloveny závěry o čitelnosti barev na mapách. Prokázalo se, že při porovnání kartografů s ostatními měli kartografové větší počet správných odpovědí. A také byl potvrzen předpoklad, že nekartografům trvalo o něco déle nalezení správných odpovědí a také měli větší počet fixací. Z výsledků statistických analýz bylo zjištěno, že tón barvy má vliv na čas do zodpovězení otázky a na počet fixací u obou testovaných skupin respondentů. Z výsledků také vyplynulo, že největší pravděpodobnost úspěchu mezi čitelnými a nečitelnými barevnými vzdálenostmi je v rozmezí 15% - 20%.

Dále bylo zjištěno u první případové studie, že u kartografů má barevná vzdálenost významný vliv na čas potřebný k odpovědi. Naopak velikost fontu se ukázala jako statisticky nevýznamná. U nekartografů barevná vzdálenost ani velikosti fontu nemají vliv na čas potřebný k odpovědi.

O bakalářské práci byly vytvořeny webové stránky, které jsou umístěny na serveru Katedry geoinformatiky. Celá práce byla rovněž v elektronické podobě umístěna na DVD, které je k práci přiloženo.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Knihy a jiné zdroje

1. BREWER, Cynthia A. *Designing better Maps : A Guide for GIS Users*. Redlands, California : ESRI Press, 2005. 203 s. ISBN 978-1-58948-089-6.
2. DUCHOWSKI, Andrew. *Eye Tracking methodology – Theory and Practice*. Springer - Verlag London, 2007. 334 s. ISBN 978-1-84628-608-7.
3. FUHRMANN, S., KOMOGORTSEV, O., TAMIR, D. *Investigating Hologram-Based Route Planning*, Transactions in GIS, 2009. s. 177–196.
4. GOLDBERG, J. H., KOTVAL, X. P. (1999). *Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs*. In International Journal of Industrial Ergonomics, 1999. Vol. 24, s. 631-645.
5. HOLMQVIST, K., NYSTRÖM, M., ANDERSSON, R., DEWHURST, R., HALSZKA, J. & VAN DE WEIJER, J. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford University Press, 2011. 560 s.
6. KAŇOK, Jaromír. *Tematická kartografie*. 1. vyd. Ostrava : Ostravská univerzita v Ostravě, 1999. 320 s. ISBN 80-7042-781-7.
7. KAŇOK, Jaromír; VOŽENÍLEK, Vít. Chyby v mapách. *GeoBusiness*. 2008, roč. 3, č. 3/2008. Praha: Springwinter, s.r.o.. s. 16 - 19. ISSN 1802-4521.
8. MONMONIER, Mark. *Proč mapy lžou*. Praha : Computer Press, 2000. 221 s. ISBN 80-7226-238-6.
9. KRAAK, Menno-Jan, ORMELING, Ferjan. *Cartography : Visualization of geospatial data*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 167 s. ISBN 0-130-88890-7.
10. SLOCUM, Terry, et al. *Thematic cartography and geovisualization : Second edition*. [s.l.] : [s.n.], c2005. 518 s. ISBN 0-13-0-35123-7.

11. STIGMAR, Hanna. *Making 21st Century Maps Legible : Methods for Measuring and Improving the Legibility and Usability of Real-Time Maps*. Lund University, 2010. 281 s. ISBN 978-91-7473-039-5.
12. VEVERKA, Bohuslav; ZIMOVÁ, Růžena. *Topografická a tematická kartografie*. Vydavatelství ČVUT, 2008. 198 s. ISBN 80-01-02381-8.
13. VOŽENÍLEK, Vít. *Diplomové práce z geoinformatiky*. Olomouc : Vydavatelství UP, 2002. 31 s. ISBN 80-244-0469-9.
14. VOŽENÍLEK, Vít. *Aplikovaná kartografie I - tematické mapy*. Olomouc : Vydavatelství UP, 2001. 187 s. ISBN 80-244-0270-X.
15. VOŽENÍLEK, Vít; KAŇOK, Jaromír; A KOL. *Metody tematické kartografie - Vizualizace prostorových jevů*. Olomouc : Vydavatelství UP, 2011. 216 s. ISBN: 9788024427904.

Internetové zdroje

16. *Adaptic* [online]. 2005 [cit. 2012-05-02]. Co je Eye tracking. Dostupné z WWW: <<http://www.adaptic.cz/znalosti/slovnicek/eye-tracking/>>.
17. *ColorRotate* [online]. 2011 [cit. 2012-05-16]. Color Models. Dostupné z WWW: <<http://learn.colorotate.org/color-models.html>>.
18. HLAVIČKA, Miroslav. *Sova v síti* [online]. 2001 [cit. 2012-05-02]. Co je eye-tracking. Dostupné z WWW: <<http://www.sovavsiti.cz/c01312.html>>.

SUMMARY

Title of the thesis: Assessing the colours impact on the legibility of digital maps

The bachelor thesis is the conclusion of the Geoinformatics and Geography Bachelor study programme at the department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc.

The aim of this bachelor thesis was to evaluate the effect of colours and colour combinations on the legibility of information on digital maps. For this purpose the experiment was created by eye-tracking device.

Impact of colours on the legibility of digital maps has been tested using modern eye-tracking technology. Testing focused on both: students of the Department of Geoinformatics (cartographers) and students of universities and high schools (general public). The aim of the testing was to find out whether the colour distance and the font size affects the ability of map readers to find desired information. And also, if a different colour hue has an effect on its readability. Watched the speed of finding the right answers and the count fixations.

The results are based on the responses of 50 respondents. The responses received were furthermore assessed using statistical methods (Shapiro-Wilk test of normality; Analysis of Variance (ANOVA) and Kruskal-Wallis test) and commented upon.

Using statistical calculations, it was determined that cartographers were more successful in the reading of and retrieval of information from the maps than general public. And was also confirmed the assumption, that public lasted a little more time finding the correct answers and also had a greater count of fixations. The survey also showed that colour hue has an impact on time and count of fixations tested in both groups of respondents. The results also showed that the boundaries between legible and illegible colour distances is between 15% - 20%. It was also found in the first case study that the cartographers of the time statistically significant impact on the colour distance. Conversely the font size proved to be statistically insignificant. Which the public doesn't matter nor the colour distance nor the font size in relation the time.

Statistical analyses assessing the colours impact on the legibility by the respondents could furthermore be used by the authors of cartographic works.

Eye-tracking technology was not fully utilized in the cartography or geosciences yet. It is clear, that it will have great importance in optimization of cartographic products and visualization of geographic data in the future.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

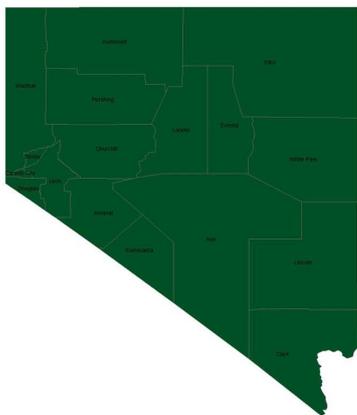
Příloha 1 Přehled vybraných otázek v experimentu

Volné přílohy

Příloha 2 DVD

Příloha 1

Přehled vybraných otázek v experimentu



OT: V mapě státu Nevada (USA) najděte okres Clark.



OT: V mapě státu Arizona (USA) najděte okres Santa Cruz.



OT: V mapě státu Nevada (USA) najděte okres Eureka.



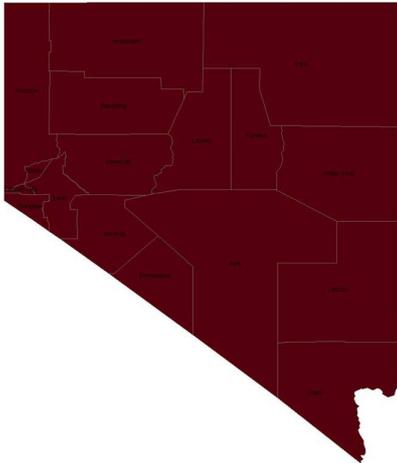
OT: V mapě státu Maine (USA) najděte okres York.



OT: V mapě státu Wyoming (USA) najděte okres Albany.



OT: V mapě státu New Jersey (USA) najděte okres Union.



OT: V mapě státu Nevada (USA) najděte
okres Mineral.



OT: V mapě státu Arizona (USA) najděte
okres Yuma.



OT: V mapě státu Nevada (USA) najděte
okres Douglas.



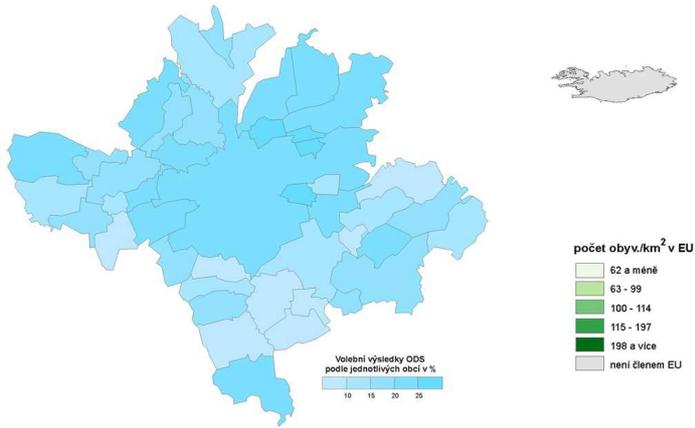
OT: V mapě státu Maine (USA) najděte
okres Somerset.



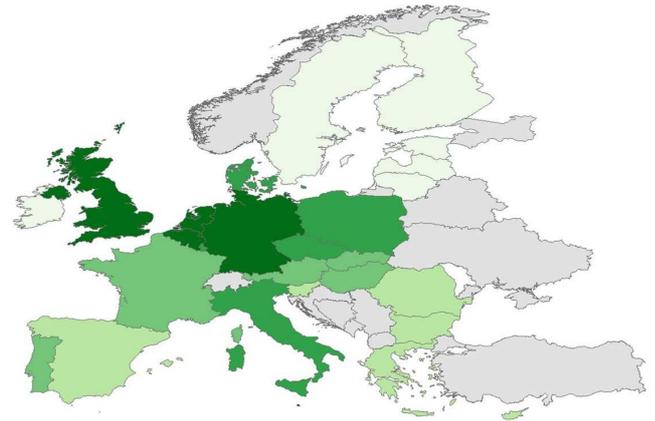
OT: V mapě státu Wyoming (USA) najděte
okres Platte.



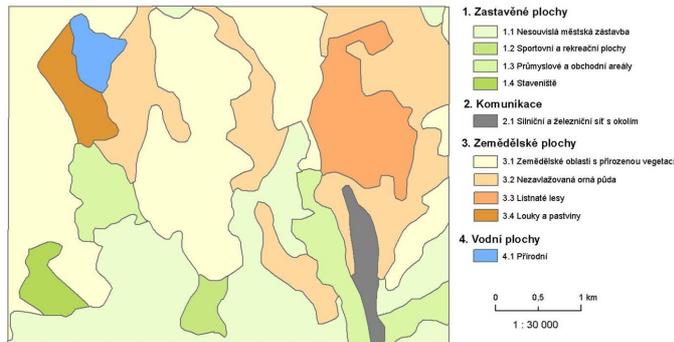
OT: V mapě státu New Jersey (USA) najděte
okres Mercer.



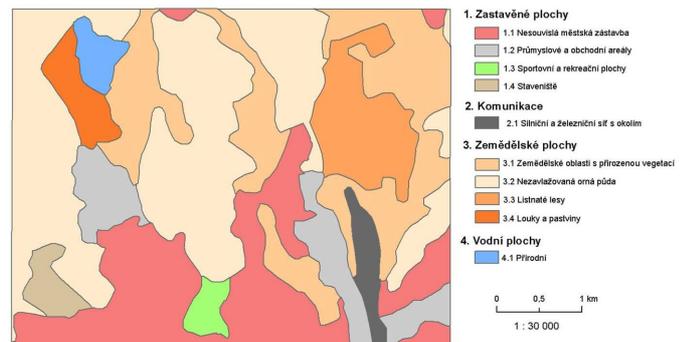
OT: Klikněte v mapě na oblast s nejvyšší úspěšností ve volbách.



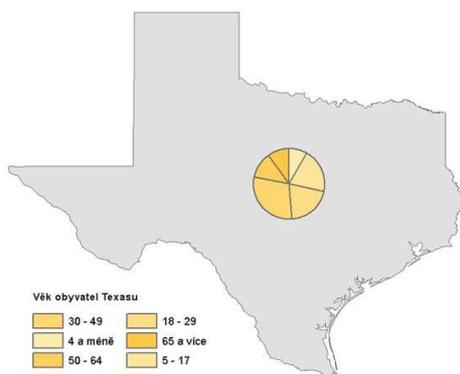
OT: Klikněte v legendě, do které kategorie zařadíte Rakousko.



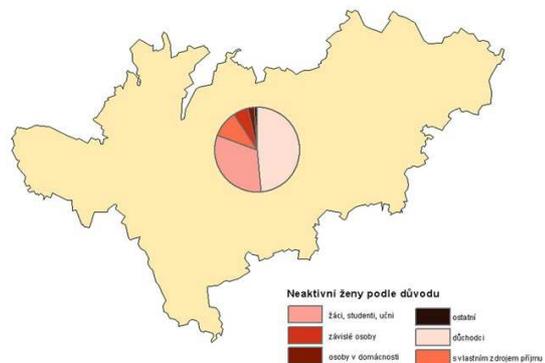
OT: Klikněte v mapě na průmyslové a obchodní areály.



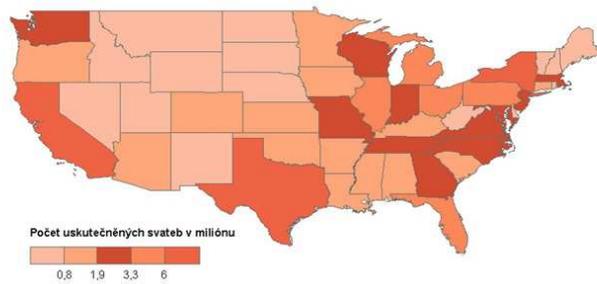
OT: Klikněte v mapě na nezavlažovanou ornou půdu.



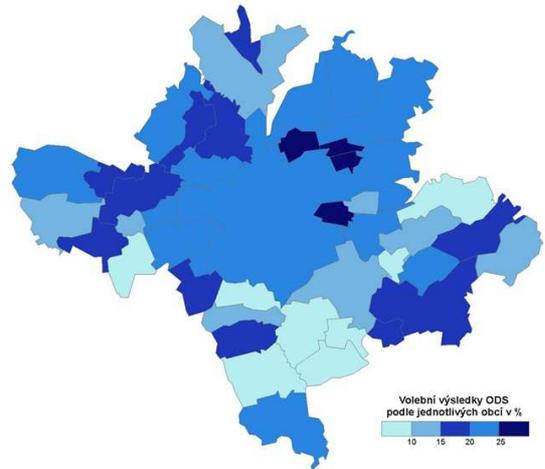
OT: Klikněte v kartodiagramu na oblast znázorňující věk 35let.



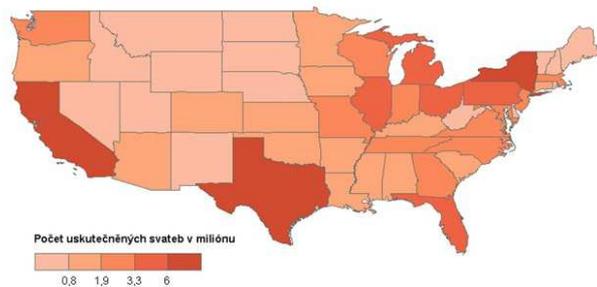
OT: Klikněte v kartodiagramu na oblast označující závislé osoby.



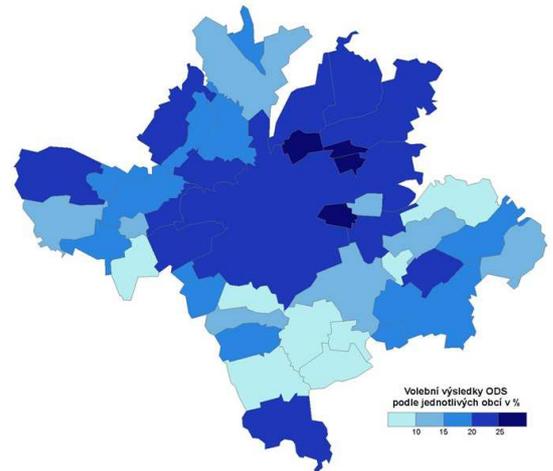
OT: Klikněte v mapě na oblast s třetím nejvyšším počtem svatebních obřadů.



OT: Klikněte v mapě na oblast s druhou nejvyšší úspěšností ve volbách.



OT: Klikněte v mapě na oblast s třetím nejvyšším počtem svatebních obřadů.



OT: Klikněte v mapě na oblast s druhou nejvyšší úspěšností ve volbách.