

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

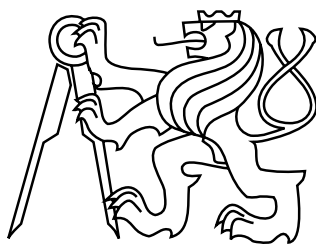
DIPLOMOVÁ PRÁCE

PRAHA 2014

Bc. Tomáš VOJTĚCHOVSKÝ

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODÉZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEOINFORMATIKA



DIPLOMOVÁ PRÁCE
TVORBA A VYUŽITÍ KARTOGRAMŮ
V SYSTÉMU MISYS

Vedoucí práce: Ing. Petr SOUKUP, Ph.D.
Katedra geomatiky

červen 2014

Bc. Tomáš VOJTĚCHOVSKÝ



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

studijní program: Geodézie a kartografie
studijní obor: Geoinformatika
akademický rok: 2013/2014

Jméno a příjmení diplomanta: Bc. Tomáš Vojtěchovský
Zadávající katedra: Katedra geomatiky
Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Soukup, Ph.D.
Název diplomové práce: Tvorba a využití kartogramů v systému MISYS
Název diplomové práce
v anglickém jazyce: Creation and Application of Choropleth Maps in MISYS System

Rámcový obsah diplomové práce: Analýza současných možností tvorby kartogramů ve vybraných geografických informačních systémech. Metody určení klasifikačních tříd a způsoby jejich grafické vizualizace. Návrh a realizace programového modulu pro tvorbu kartogramů v systému MISYS.

Datum zadání diplomové práce: 17. 2. 2014 Termín odevzdání: 16. 5. 2014
(vyplňte poslední den výuky přísl. semestru)

Diplomovou práci lze zapsat, kromě oboru A, v letním i zimním semestru.


Pokud student neodevzdal diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat diplomovou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu diplomovou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č. 111/1998 (SZŘ ČVUT čl 21, odst. 4).

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.


.....
vedoucí diplomové práce


.....
vedoucí katedry

Zadání diplomové práce převzal dne: 25.2.2014


.....
diplomant

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x diplomant, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Nejpozději do konce 2. týdne výuky v semestru odešle katedra 1 kopii zadání DP na studijní oddělení a provede zápis údajů týkajících se DP do databáze KOS.
DP zadává katedra nejpozději 1. týden semestru, v němž má student DP zapsanou.
(Směrnice děkana pro realizaci stud. programů a SZS na FSv ČVUT čl. 5, odst. 7)

ABSTRAKT

Práce se zabývá tvorbou kartogramů v programu MISYS. V jednotlivých kapitolách jsou popsány současné možnosti systému MISYS, teoretické základy podstatné pro vytvoření kartogramu, realizace programového modulu a nejčastější chyby při vytváření kartogramů. Součástí diplomové práce je také porovnání tvorby kartogramu v geografických informačních systémech ArcGIS a QGIS.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kartogram, MISYS, GIS

ABSTRACT

This thesis occupies with creating choropleth maps in MISYS system. The current possibilities of this system, theoretical basis needed for creating choropleth maps, implementation of programmatic module and the most frequent mistakes of choropleth map's creating are described in the individual chapters. One part of this diploma thesis is a confrontation with creating choropleth maps in geographic information systems ArcGIS and QGIS.

KEYWORDS

Choropleth Map, MISYS, GIS

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Tvorba a využití kartogramů v systému MISYS“ jsem vypracoval samostatně, že jsem řádně citoval všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Soukupovi, Ph.D. a konzultantovi společnosti GEPRO spol. s r.o. za připomínky a pomoc při zpracování této práce.

Obsah

Úvod	8
1 Kartogramy	10
1.1 Definice kartogramu	10
1.2 Druhy kartogramů a jejich využití	11
1.3 Klasifikační metody	12
1.3.1 Volba typu stupnice	16
1.3.2 Volba klasifikační metody	18
1.3.3 Stejné intervaly, počet tříd	19
1.3.4 Stejné intervaly, krok	21
1.3.5 Kvantil (stejná četnost)	21
1.3.6 Jenks Natural Breaks	22
1.3.7 Manuální určení intervalů	23
1.3.8 Směrodatná odchylka	25
1.4 Počet klasifikační tříd	26
1.5 Barvy v kartogramech	28
1.5.1 Kvalitativní kolorace	28
1.5.2 Kvantitativní kolorace	30
1.5.3 ColorBrewer	31
2 MISYS	37
2.1 Obarvení plochy v systému MISYS	37
2.1.1 Výplň plochy	37
2.1.2 Výplň plochy dle atributů	38
3 Modul <i>Kartogram</i>	41
3.1 První verze modulu	41
3.2 Stávající verze modulu	43
3.2.1 Ovládání modulu <i>Kartogram</i>	43
3.3 Plánovaný vývoj	46

3.3.1	Volba typu kartogramu	46
3.3.2	Možnosti intervalové stupnice	47
3.3.3	Zvýraznění ploch	48
3.3.4	Soubor legendy	50
3.3.5	Histogram	50
4	Chyby v kartogramech	52
4.1	Chybný tematický obsah mapy	52
4.2	Porušení mapové kompozice	53
	Závěr	58
	Použité zdroje	60

Úvod

Diplomová práce *Tvorba a využití kartogramů v systému MISYS* vznikla v rámci studijního programu Geodézie a kartografie na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze na katedře geomatiky.

Kartografická díla jsou součástí mnohých aktivit - od zabezpečení obrany státu přes evidenci půdy, projektování složitých inženýrských záměrů, všeobecné informování široké veřejnosti, analytické průzkumy až po tvorbu pedagogických pomůcek a map sloužících účelům turistiky [1].

S příchodem moderních technologických prostředků, digitální kartografie a následně také s rozvojem geografických informačních systémů (GIS) stoupl rozšíření tvorby tematických map, tedy i kartodiagramů a kartogramů. Poměrně snadná produkce a velký zájem společnosti o mapy tohoto druhu staví díla tematické kartografie na pozici téměř denního spotřebního zboží.

Využití těchto typů mapových děl tematické kartografie je velice široké, lze je využít jak pro reklamu, reprezentaci firmy či vytvoření učebních pomůcek, tak pro vědeckou činnost, a tak je nutné položit si před vytvořením kartogramu či kartodiagramu otázku, komu bude výsledek předkládán a koho jím chceme přesvědčit.

Právě tvorbou a využitím kartogramů se tato práce zabývá; Ve spolupráci s firmou GEPRO spol. s r.o. byla aplikována tvorba kartogramů do systému MISYS. Tento informační systém se vzájemně provázanými grafickými a popisnými informacemi je vhodný pro vytvoření modulu, na kterém je možné prezentovat tvorbu kartogramů. Modul *Kartogram* by mohl být v budoucnu stálou součástí systému MISYS.

Cílem práce je popsat současné možnosti tvorby kartogramů ve stávající verzi programu MISYS (11.73), jejich případné rozšíření a navržení nového možného řešení tvorby kartogramů. Součástí práce je také vytvoření funkčního modulu, který mapu vytvoří podobně jako je tomu u nástrojů, jež jsou součástí rozsáhlých geografických informačních systémů.

Při používání GIS programů je třeba dodržovat určitá kartografická pravidla, která značnou měrou zajistí správnost vytvořené mapy a která také výslednému

kartogramu dodají nejvyšší možný informační potenciál. Ať je uživatelem, tedy tvůrcem tematické mapy, laik, jenž GIS využívá spíše sporadicky, tvůrce geoinformačních aplikací, nebo zkušený profesionální kartograf, mělo by se dbát na to, aby konečné mapové dílo neutrpělo odborné, informační nebo estetické ztráty. Vzhledem k vysoké četnosti chyb i na velice erudovaných místech je součástí této diplomové práce také stručný souhrn kartografických pravidel, která do jisté míry zamezí vytvoření kompozičních prvků mapy s nesmyslným nebo chybným obsahem.

Během vypracovávání teoretické i praktické části byly analyzovány dva geografické informační systémy: komerční software ArcGIS od firmy ESRI (verze 10.2) a volně dostupný program QGIS (verze 2.2). Oba systémy mají ve své široké nabídce funkcí i možnost vytvořit kartogram a disponují mnohými nastaveními, která ovlivňují výslednou tematickou mapu.

Tato diplomová práce přibližuje kartogramy nejen z teoretické části, ale také objasňuje jejich užití v praxi.

1 Kartogramy

Tematické mapy, do nichž kartogramy patří, tvoří spolu s mapami obecně zeměpisnými a topografickými základ kartografické produkce. Lze je vymezit jako mapy, které na topografickém podkladě zobrazují data vztahující se k dílčím územním celkům (poloha, rozšíření, frekvence výskytu, intenzita, kvalita, aj.) [1].

1.1 Definice kartogramu

Informace z kartogramů čteme v nejrůznějších médiích velmi často, jde o jeden z nejčastěji užívaných vyjadřovacích prostředků kvantity v geografii. Definice kartogramu může být více, zde jsou uvedeny dvě:

- Kartogram je mapa s dílčími územními celky, do kterých jsou plošným způsobem znázorněna statistická data (relativní hodnoty!), většinou geografického charakteru [4].
- Vyjádření relativních kvantitativních dat v areálech mapy, vztažených k jejich ploše pomocí barev nebo textur (např. hustoty obyvatelstva na 1 km²) [14].

Podstatnou charakteristikou kartogramů je přepočítání kvantitativních dat na jednotku plochy. Výslednou mapou potom může být např. Hustota zalidnění v krajích ČR v roce 2008 nebo Průměrný výnos cukrové řepy na hektar v krajích ČR v letech 2001–2010. Získáme tak *kartogram pravý*.

Pokud data vztahující se k jednotlivým areálům nemají prostorový základ (tj. nejsou přepočteny na jednotku plochy), potom vytvořením mapy na základě těchto dat získáme *kartogram nepravý* (pseudokartogram). V takovém případě se jedná například o Počet požárů v jednotlivých krajích na 1000 obyvatel v roce 2011.

Vzhledem ke zjednodušení terminologie bude v této diplomové práci používán výraz kartogram i pro tematickou mapu vyjádřenou pseudokartogramem, ačkoli z odborné stránky není možné tyto dva termíny zaměňovat.

1.2 Druhy kartogramů a jejich využití

V nejrůznějších médiích se zvláště v posledních letech setkáváme většinou pouze s jedním typem kartogramu, a to s kartogramem jednoduchým homogenním. Tento fakt je způsoben především možnostmi GIS programů, které tvorbu tohoto typu kartogramu logicky upřednostňují, avšak nepoukazují na konstrukci dalších druhů kartogramů, ačkoli je to technicky možné. Zvláště kartogramy vznikající mimo prostředí GIS jsou v této problematice poměrně monotónní. Výsledkem toho je malé rozšíření dalších druhů kartogramů.

Podle [4] lze při ohledu na konstrukci popsat až 22 konstrukčně odlišných kartogramů. Zde je uvedeno několik vybraných typů kartogramů:

- *Kartogram jednoduchý homogenní* je nejfrekventovanějším typem kartogramu. Každý dílčí areál je nositelem pouze jednoho kvantitativního údaje a je zvýrazněn barvou, nebo rastrem podle předem sestavené intervalové stupnice.
- Chceme-li rozdílným způsobem zvýraznit záznamy, které jsou nad nebo pod určitou střední hladinou (např. průměrem, modem atd.) je vhodné použít *kartogram jednoduchý kvalifikační*. Lze ho využít např. pro dvojice: nadprůměrná - podprůměrná mzda, nadprůměrná - podprůměrná volební účast; nadpoloviční podíl půdy v daném katastrálním území, na níž vlastníci žádali o provedení pozemkové úpravy; nebo pro zobrazení oblastí, kde je překročena povolená hladina hluku. Tento typ kartogramu lze sestavit v systému ArcGIS (obr. 1.1) při zvolení klasifikační metody *Standard Deviation* a vybrání divergentní barevné stupnice. Jeho sestavení je uživatelsky značně obtížnější než v případě kartogramu jednoduchého homogenního¹.
- K prezentaci dvou nebo více sledovaných jevů může sloužit *kartogram složený*, kdy jeden jev je nejčastěji znázorněn svislými čarami a další vodorovnými. Lze jej využít pro zobrazení např. těchto datových vztahů: teplota vzduchu -

¹Při užití klasifikační metody *Standard Deviation* lze obtížně odhadovat výsledný počet tříd. Je nutné ručně přepsat popisy jednotlivých intervalů, jelikož obsahují zkratky anglického názvu pro směrodatnou odchylku. Hraniční hodnotou je vždy průměr a jeho hodnota je uprostřed intervalu. Více v kapitole 1.3.8.

teplota půdy; míra znečištění ovzduší - počet lidí zemřelých na plicní nemoci; sklon pozemků s ornou půdou - míra erodovatelnosti půdy. Třetí sledovaný jev by se mohl zvýraznit barvou dílčího území. Výsledný produkt by mohl vypadat jako na obr. 1.2. Tento typ kartogramu lze nepřímo zkonstruovat v obou analyzovaných GIS programech, avšak je nutné vytvořit kopie polygonové vrstvy a jejich vizualizaci postupně modifikovat. Postup není obtížný, ale poněkud pracný.

- Dalším způsobem, jak vyjádřit intenzitu jevu v dílčích územních celcích je *kartogram jednoduchý tečkový* (nepleťme si to s metodou teček²). Tečky jsou na celé ploše rozmístěné v pravidelné mřížce a intenzita jevu se projevuje v proporcionální velikosti teček v určitém území. Důležitým potenciálem může být snížení nákladů při tisku a také možnost přidat k tomuto rastrovému zvýraznění také zvýraznění barevné.
- *Kartogram prostorový* používá ke znázornění sledovaného jevu výšku tělesa, jehož podstava je tvar dílčího územního celku. Platí zde pravidlo: čím intenzivnější jev, tím výše je „zvednuta“ základna plochy kartogramu. Barevné zvýraznění může pomoci při případném vnímání prostorového efektu. Kartogram prostorový se užívá především k propagačním účelům.

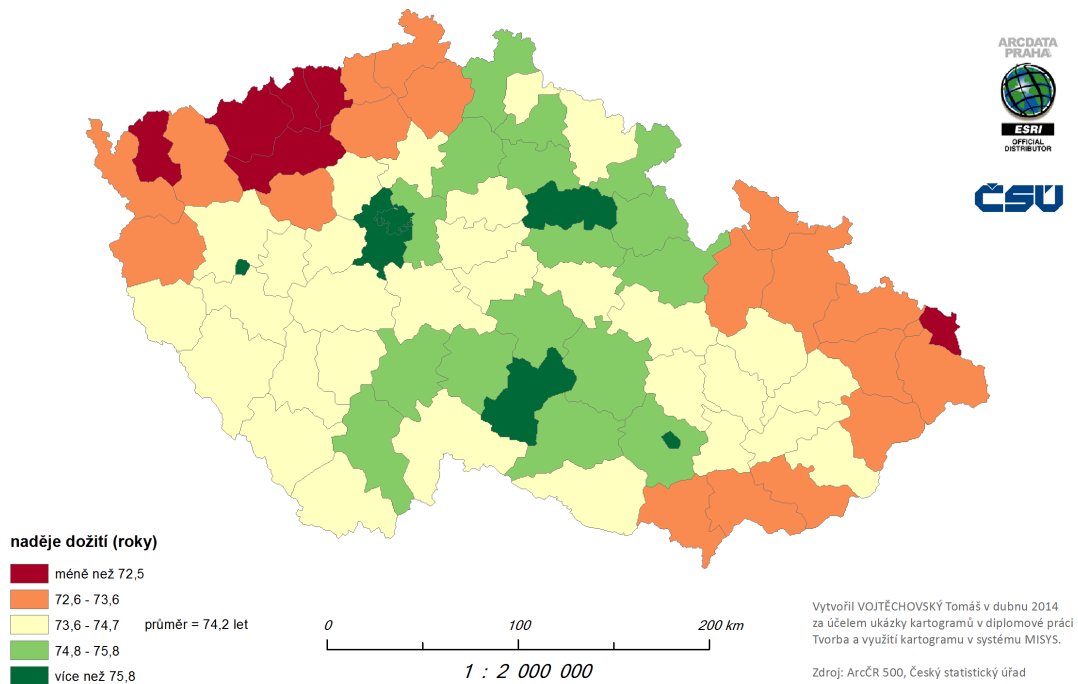
Za využití stávajících možností GIS programů je komplikované sestavit jiný kartogram než jednoduchý homogenní, ačkoli by z řad uživatelů mohl být zájem i o vytvoření dalších všeobecně méně známých druhů.

1.3 Klasifikační metody

Atributové hodnoty jednotlivých objektů výkresu jsou vepsané do atributové tabulky, jež má v hlavičce název jevu a jednotlivé řádky tabulky lze pojmenovat jako záznamy. Na počátku vytvoření kartogramu je nutné určit, které záznamy vybraného atributu budou asociovány kterou barvou. Klasifikační metoda slouží k přerozdělení

²Zřejmým rozdílem je nepřítomnost areálových hranic a možnost volit váhu u každé z teček. Podrobný popis uvádí [1]

Průměrná naděje dožití mužů v okresech ČR v letech 2008-2012



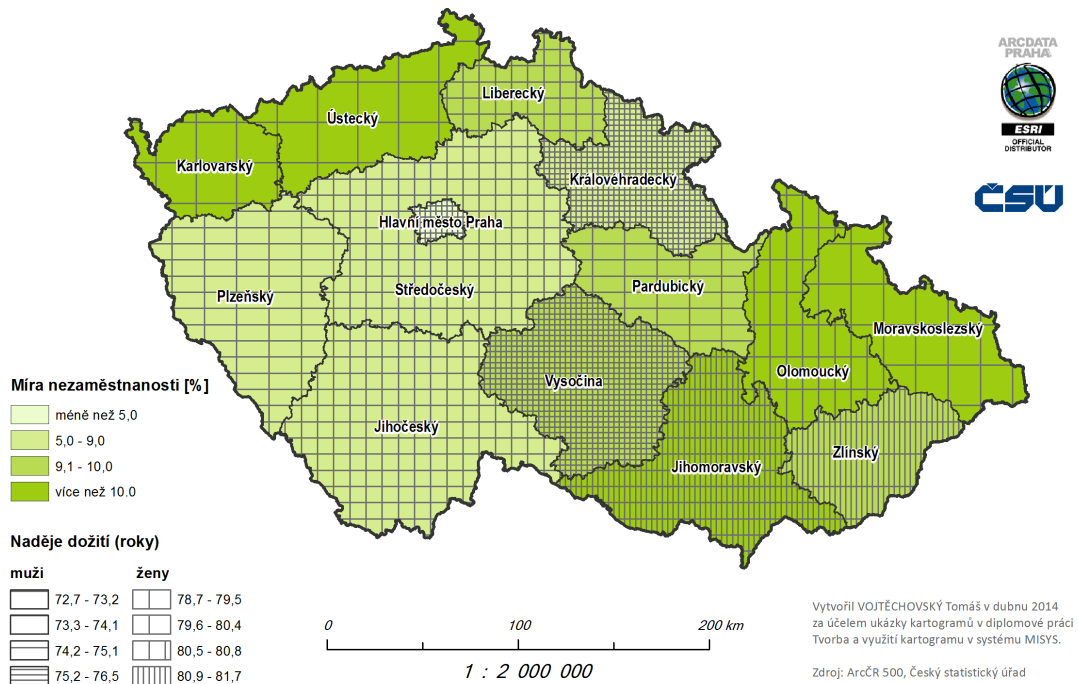
Obr. 1.1: Kartogram jednoduchý kvalifikační. Vytvořeno v program ArcGIS.

N hodnot do k tříd. Existuje mnoho metod, které vypočítají hranice těchto jednotlivých tříd. Jednotlivé rozsahy tříd by měly pojímat data, která jsou si ze statistického hlediska podobná, a neměly by vznikat třídy prázdné, nebo třídy s četností prvků blížící se celkovému počtu záznamů [13].

Ať nástroj pro tvorbu kartogramu obsluhuje laik, pokročilý uživatel nebo odborník, měl by alespoň okrajově znát podstatu klasifikačních metod, které se při konstrukci mapy využívají. Množství těchto algoritmů, s jejichž pomocí lze vypočítat hranice jednotlivých intervalů tříd, je poměrně velké - do GIS programů je jich však zakomponováno jen několik - a i tak lze říci, že mnozí uživatelé funkcionalitu jednotlivých klasifikačních metod neznají. O tomtéž se pojednává i v [4]. Autor zde uvádí propracované dělení stupnic pro tematickou kartografii (tab. 1.1).

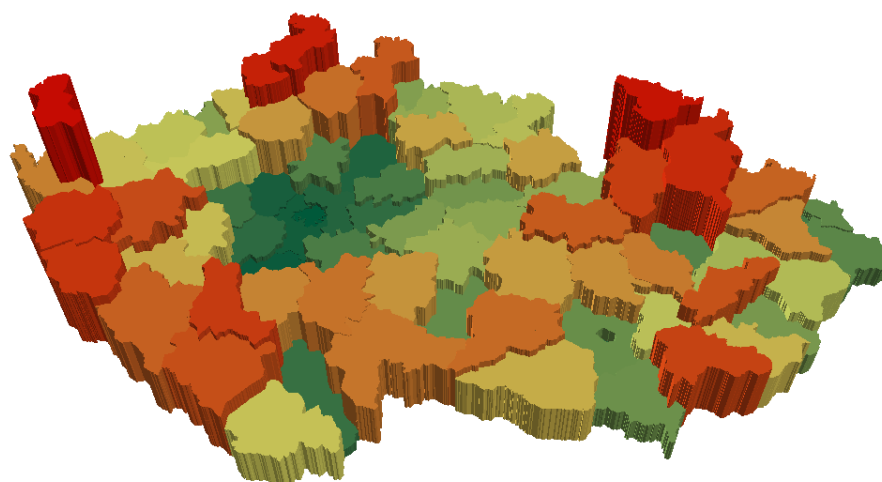
Všechny klasifikační metody dostupné v systému ArcGIS a QGIS (tab. 1.2) se řadí mezi stupnice intervalové plynule navazující, které také jsou nejpropracovanější a nejužívanější. Podle [4] lze intervalové stupnice rozdělit takto:

Porovnání míry nezaměstnanosti a naděje dožití v krajích ČR v roce 2011



Obr. 1.2: Kartogram složený, doplněný třetím sledovaným jevem, který je zvýrazněn barvou. Vytvořeno v program ArcGIS.

- Mezi stupnice konstantní patří ty, jejichž hranice jsou od sebe stejně vzdálené; Hodnoty hranic jsou vypočítané na základě zadání počtu tříd nebo velikostí kroku. Výsledná klasifikace dat s rozsahem 1–14 může vypadat takto: 1,00–4,25; 4,26–7,50; 7,51–10,75; 10,76–14,00.
- Za pravidelně rostoucí (klesající) stupnici je možné označit metodu geometrickou. Charakterizuje se stále rostoucím dvojnásobným rozsahem po sobě následujících tříd, např. 1,0–2,0; 2,1–4,0; 4,1–8,0; 8,1–16,0; 16,1–32,0 atd. V geografii tato stupnice příliš neuzívá. V programu ArcGIS je tato metoda k dispozici pod názvem *Geometrical Interval*. Do této skupiny stupnic lze začlenit také stupnici logaritmickou.
- Mezi stupnice nepravidelné patří ty, jejichž použitím vznikají intervaly s proměnnou šířkou. Mohou být odvozené např. od průměru s využitím násobků



Obr. 1.3: Kartogram prostorový. Vytvořeno v program ArcScene.

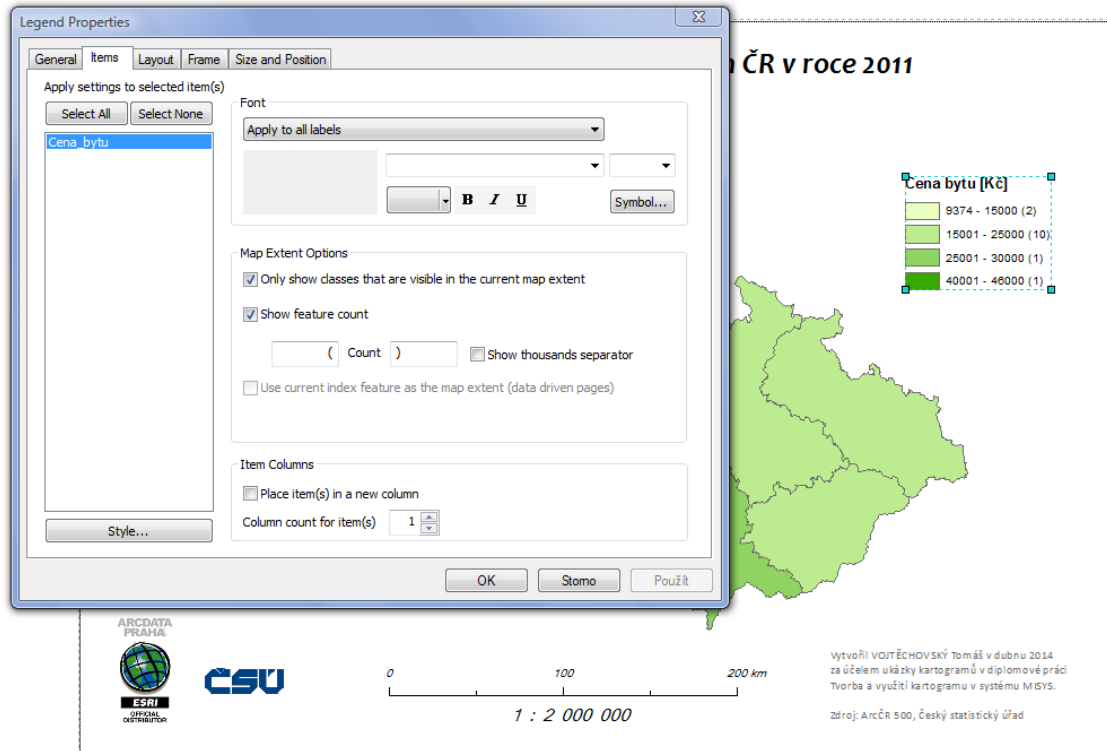
směrodatné odchylky, nebo mohou být odvozené od mediánu s využitím dolních a horních kvartilů či pentilů, výjimečně také decilů (viz kap. 1.3.5). Do této skupiny stupnic můžeme zařadit také metodu *Jenks Natural Breaks* (kap. 1.3.6).

Stupnice intervalové skokové vznikají vynecháním jednoho nebo více intervalů. Dojde tak k přerušení navazujících intervalů a vznikne mezera - hiát. Důvodem pro vynechání intervalu může být také to, že mezi hodnotami atributu není žádný

Tab. 1.1: Obecné rozdělení klasifikací [4].

Stupnice			
Intervalová		Funkční	
plynule navazující	skoková	spojitá	skoková
konstantní	s hiátem		s hiátem
pravidelně rostoucí (klesající)			v důsledku změny vzorce
nepřavidelná			

záznam, který by patřil do vypuštěného intervalu. Systém ArcGIS nabízí stupnici skokovou nepřímo v rámci vytváření mapové kompozice, a to pomocí modifikace nastavení legendy na kartě *Items* ve skupinovém rámečku *Map Extent Option* (obr. 1.4). Program QGIS umožňuje vytvořit hiát (mezeru) ruční editací hranic.



Obr. 1.4: Vytvoření skokové stupnice v programu ArcGIS. V legendě je patrná mezeru mezi 30 000 a 40 000 - žádný záznam nemá hodnotu v tomto intervalu.

Stupnice funkční se využívají při tvorbě diagramů, kde je mezi hodnotou sledovaného jevu a parametrem diagramu přesně určený matematický vztah. Více o tomto tématu v [4] nebo v [15].

1.3.1 Volba typu stupnice

Důležitým aspektem při volbě klasifikační metody je znalost analyzovaných dat. Pokud vstupní soubor odpovídá rovnoměrnému, nebo normálnímu rozdělení, pak je vhodné využít klasifikaci s konstantní velikostí tříd. Souborem odpovídající rovnoměrnému rozdělení je např. Objasnění kriminálních případů v okresech ČR z roku

2011 [11] nebo Průměrná naděje dožití mužů z let 2005–2009 [11]. Z hlediska přehlednosti jsou stejně velké intervaly uživatelsky příjemné, avšak přináší také nevýhodu v podobě možné existence prázdných tříd, k čemuž přispěje jediná odlehlá hodnota. Příkladem může být Praha mezi okresy České republiky - v mnoha statistických ukazatelích jsou hodnoty pro hlavní město extrémní (nezaměstnanost, cena bytů, hustota obyvatel atd.).

V takových případech lze využít některou z klasifikačních metod s proměnlivou velikostí tříd, a to především *Jenks Natural Breaks*, kterou lze využít i pro obecná data. Jinou metodou s vlastností různého rozsahu tříd je *Kvantil (stejná četnost)*, který se ale kvůli svým nevýhodám (kap. 1.3.5) příliš nevyužívá.

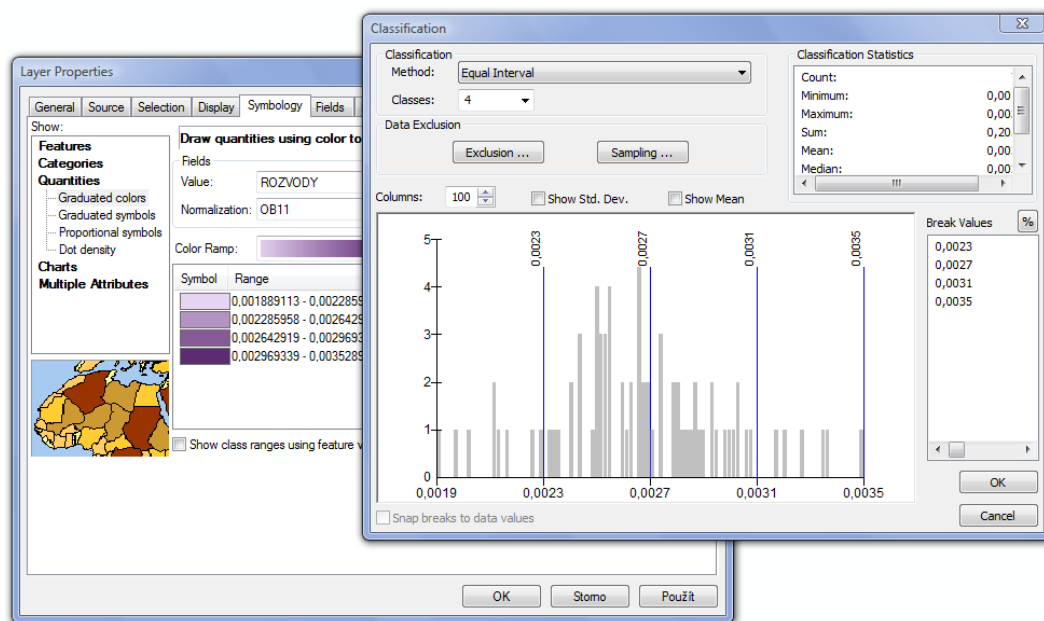
Pokud nelze dobré výsledky získat výše uvedenými klasifikačními metodami založenými na matematickém algoritmu, je možné určit hranice manuálně (*Manuální určení tříd*). Při využití této metody je třeba být obezřetný a sledovat četnost záznamů a jejich podobnost v jednotlivých třídách. Program QGIS použitím této metody uživateli dává naprostou svobodu ve volbě hranic, přičemž je možné vytvořit i zcela nesmyslné hodnoty intervalů.

Užití nesprávného klasifikačního postupu může vést k nenalezení homogenity jevu v prostoru, tj. nenajdou se oblasti, které mají něco společného [4] a dojde ke vzniku kartogramu, ve kterém:

- bude převládat jen jedna barva z vybrané palety barev, tj. většina záznamů bude součástí jedné klasifikační třídy.
- bude jedna z barev chybět, tj. do jedné ze tříd nebudou spadat žádné záznamy
- budou stejnou barvou zvýrazněny dílčí území celky, jejichž hodnoty atributu se výrazně liší.

1.3.2 Volba klasifikační metody

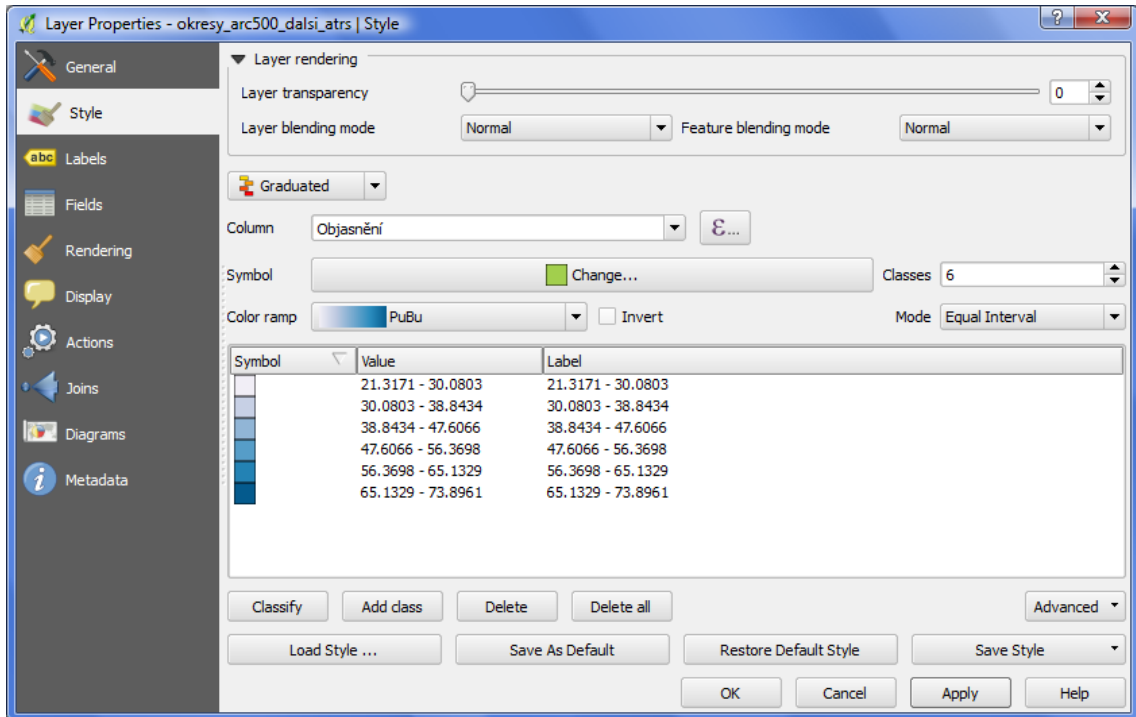
Geografické informační systémy ArcGIS a QGIS nabízejí téměř shodné metody pro klasifikaci dat. Klasifikační metody jsou v obou programech k dispozici ve vlastnostech vrstvy na kartě *Symbology*(ArcGIS)/*Style*(QGIS). Po volbě *Graduated colors*(ArcGIS)/*Graduated*(QGIS) je možné vybrat sledovaný jev a metodu klasifikace. Software ArcGIS při volbě klasifikace nabízí k prohlédnutí histogram, tabulku se základními statistickými údaji a možnost výběru dat, která budou do klasifikace zařazena.



Obr. 1.5: Volba klasifikační metody v programu ArcGIS

Do modulu *Kartogram*, jehož naprogramování v prostředí systému MISYS je součástí této diplomové práce, jsou zakomponovány tyto klasifikační metody:

- Stejné intervaly, krok
- Stejné intervaly, počet tříd
- Kvantil (stejná četnost)
- Jenks Natural Breaks
- Manuální určení tříd



Obr. 1.6: Volba klasifikační metody v programu QGIS

Všechny zmíněné algoritmy počítají horní hranice intervalů a následně jsou hodnoty atributů jednotlivých objektů porovnávány právě s polem obsahujícím horní hranice tříd. Zdrojové kódy metod *Jenks Natural Breaks* a *Kvantil (stejná četnost)* byly převzaty a modifikovány pro jejich aplikaci v jazyce Kokeš Basic ze zdrojového kódu otevřeného programu QGIS [12].

1.3.3 Stejně intervaly, počet tříd

Podle [13] je tato metoda vhodná pro klasifikaci dat, kdy se hodnoty souboru blíží normálnímu³ nebo konstantnímu rozdělení⁴. Funkce určuje hranice stejně velkých intervalů při zadaném počtu k tříd. Ze vstupních parametrů funkce - minima, maxima a počtu tříd k - se spočítá velikost intervalu, která se kumulativně přičítá k minimu, a tak vznikne daný počet klasifikačních tříd se stejným rozsahem.

³Nejdůležitější typ rozdělení náhodných veličin [6]; je charakterizováno střední hodnotou μ a směrodatnou odchylkou σ . Grafem hustoty pravděpodobnosti je tzv. Gaussova křivka zvonovitého tvaru, která je symetrická kolem přímky procházející střední hodnotou.

⁴Všechny hodnoty náhodné veličiny mají stejnou pravděpodobnost. Např. hod kostkou.

Tab. 1.2: Porovnání typu klasifikací v GIS programech

ArcGIS 10.2	QGIS 2.2	Modul <i>Kartogram</i>
Manual		Manuální určení tříd
Equal Interval		Stejný interval, krok
Defined Interval	Stejný interval	Stejný interval, počet
Quantile	Kvantil	Kvantil (stejná četnost)
Natural Breaks (Jenks)	Natural Breaks	Jenks Natural Breaks
Geometrical Interval		
Standart Deviation	Směrodatná odchylka	
	Pretty Breaks	

$$\Delta I = \frac{h_{max} - h_{min}}{k} = konst. \quad (1.1)$$

Hodnota h_{max} označuje maximum jevu a h_{min} minimum, i -tou třídou lze vypočítat podle následujícího vztahu:

$$\Delta I_i = h_{min} + i \cdot \Delta I, \quad (1.2)$$

kde $i = 1, \dots, k - 1$.

Např. pro hodnoty 10, 17, 20, 21, 25, 26, 30, 33, 38 a počet tříd $k = 4$ bude výpočet horních hranic vypadat následovně:

$$\begin{aligned} \Delta I &= \frac{38-10}{4} = 7 \\ h_{min} &= 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta I_1 &= 10 + 1 \cdot 7 = 17 & \Delta I_2 &= 10 + 2 \cdot 7 = 24 \\ \Delta I_3 &= 10 + 3 \cdot 7 = 31 & \Delta I_4 &= 10 + 4 \cdot 7 = 38 \end{aligned} \quad (1.3)$$

Pokud je poslední vypočítaná hranice větší než maximální hodnota analyzovaných dat, hodnotou této hranice se stane h_{max} .

1.3.4 Stejné intervaly, krok

Tato metoda je velice podobná metodě předchozí. Rozdíl je v tom, že si uživatel určí velikost intervalu ΔI a počet tříd k se automaticky přímo úměrně dopočítá podle vzorce:

$$k = \frac{h_{max} - h_{min}}{\Delta I} \quad (1.4)$$

V případě neceločíselného výsledku se hodnota k zaokrouhlí k nejbližšímu vyššímu celému číslu a získá se tak počet intervalů.

1.3.5 Kvantil (stejná četnost)

Metoda kvantilů roztřídí data na početně stejně velké třídy. Číselné hodnoty, které rozdělí soubor o velikosti N na k částí se stejnou četností záznamů se nazývají kvantily. Medián rozděluje obor hodnot na poloviny, dolní a horní tertíl rozdělí data má tři shodné části. Kvartil roztřídí soubor na čtyři stejně početné části, první kvartil se též nazývá dolním, druhý je totožný s mediánem a třetí kvartil se nazývá horním kvartilem. Analogicky lze definovat také decily nebo percentily (99 percentilů rozdělí vstupní data na 100 stejně početných částí).

Vznik stejně početných částí ovšem platí pouze teoreticky, resp. pouze pokud platí, že podíl počtu záznamů N a počtu tříd k je celé číslo. Pro výpočet i -té pozice hranice je třeba setřídít data podle velikosti a využít podle [13] vzorec 1.5 (tab. 1.3 - varianta 1), nebo podle [12] vzorec 1.6 (tab. 1.3 - varianta 2):

$$Q_i = (N + 1) \cdot \frac{i}{k}, \quad (1.5)$$

$$Q_i = (N - 1) \cdot \frac{i}{k} + 1, \quad (1.6)$$

kde N je počet záznamů a k zvolený počet tříd. Pokud je Q_i celé číslo, pak hodnotou hranice je Q_i -tý záznam ze vzestupně seřazených dat. Výsledky obou vzorců

Tab. 1.3: Kvantily tvořící $k = 9$ tříd vytvořené pro soubor s $N = 14$ záznamy. Hodnoty 14 v posledním sloupci jsou přidány jen pro úplnost, nejedná se o kvantily.

Varianta 1	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33	10,00	11,67	13,33	14
	1	2	2	1	2	2	1	2	1
Varianta 2	2,44	3,89	5,33	6,78	8,22	9,67	11,11	12,56	14
	2	1	2	1	2	1	2	1	2

na téže datech jsou demonstrovány v tab. 1.3. Soubor dat obsahuje $N = 14$ prvků o hodnotách 1–14, kdy záznamy byly roztrženy do $k = 9$ tříd. Pro obě varianty jsou v horním řádku vypsány hodnoty kvantilů a v dolním četnostní zastoupení v dané třídě.

Pokud Q_i není celé číslo, pak se hodnota hranice musí určit pomocí dalšího algoritmu. V následujícím textu je uveden výpočet, který využívá systém QGIS.

Vypočítáním hodnot kvantilů jsou získány pouze pozice hranic mezi daty. Pokud je např. kvantil $Q = 2,6$, nachází se hodnota hranice Qx mezi druhým a třetím datem vstupního souboru. Přesné číslo Qx získáme užitím postupu:

$$\begin{aligned}
 id &= \text{floor}(Q) \\
 r &= Q - id \\
 Qx &= (1 - r) \cdot \text{data}(id) + r \cdot \text{data}(id + 1)
 \end{aligned}
 \tag{1.7}$$

Tento výpočet je v programech ArcGIS a QGIS různý, do přehledu (tab. 1.4) byly přidány i hodnoty statistického programu R⁵ [3] a hodnoty kvantilů podle [13] uvedené pod sloupcem B.

1.3.6 Jenks Natural Breaks

Podle [13] je tento algoritmus jedním z nejlepších a je vhodný i pro obecná data. Představuje aplikaci metody nejmenších čtverců. Kritérium, které klasifikační metoda *Jenks Natural Breaks* využívá, se jmenuje Armstrong - Xianovo kritérium, také

⁵R project při výpočtu kvantilů nabízí nepovinný parametr `type`, díky kterému si můžeme vybrat typ algoritmu pro výpočet kvantilů.

Tab. 1.4: Kvantily vypočítané dvěma GIS programy, statistickým software R a algoritmem uváděným v [13].

ArcGIS	QGIS	R	B
4,00	4,25	4,25	3,75
8,00	7,50	7,50	7,50
11,00	10,75	10,75	11,25
14,00	14,00	14,00	14,00

známé jako Goodness of Variance Fit. Kritérium minimalizuje sumu kvadrátů oprav od aritmetického průměru \bar{h}_j v jednotlivých třídách j dělenou sumou kvadrátů oprav aritmetického průměru \bar{h} všech hodnot. Lze ho vyjádřit jako:

$$AX = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N (h_{ij} - \bar{h}_j)^2}{\sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}, \quad (1.8)$$

kde h_i , $i = 1, \dots, N$ jsou jednotlivé hodnoty, k počet tříd, N_j počet prvků v j -té třídě a \bar{h}_j je aritmetický průměr hodnot ve třídě j .

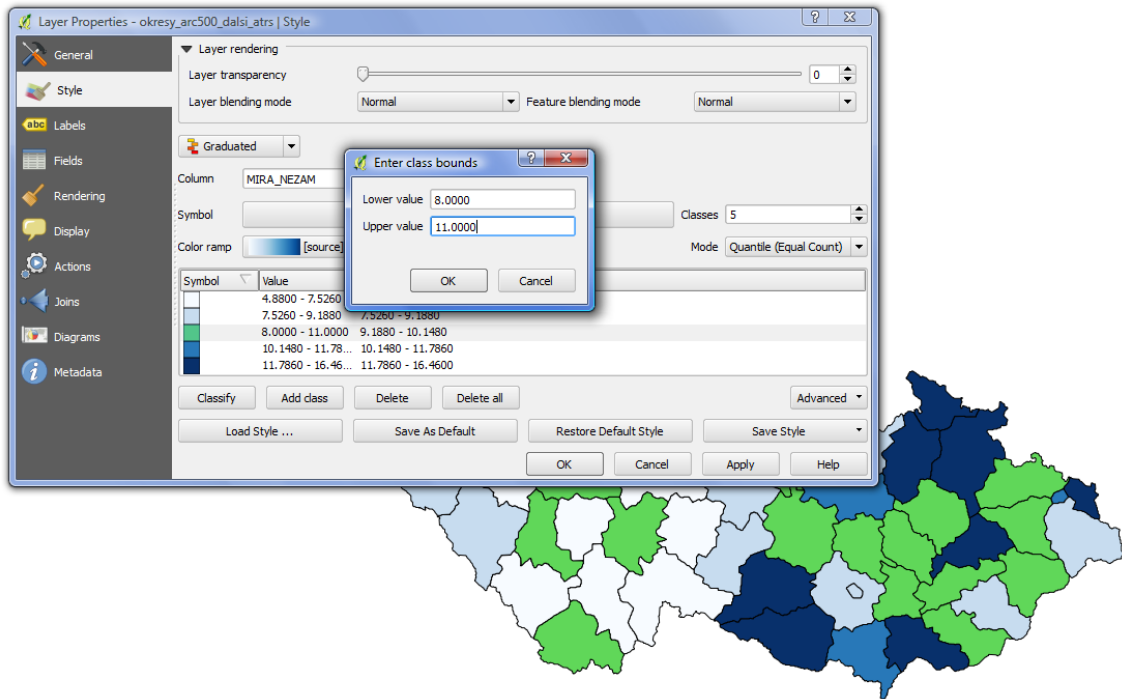
Jenksovo kritérium sice popisuje vlastnosti tříd, neurčuje však postup, jak zlomové body najít [13]. K výpočtu hranic je možné použít shlukovací heuristický algoritmus *k-means*. Jeho použitím sice nedostaneme řešení přesné (pouze přibližné), avšak alespoň ne špatné a zavádějící. Zjednodušeně by se dalo říci, že algoritmus *k-means* hledá k vektorů, které dobře aproximují danou množinu dat. Hledá tedy takové vektory, u nichž je euklidovská vzdálenost všech dat co nejmenší [8]. Podrobněji je algoritmus popsán v [13].

1.3.7 Manuální určení intervalů

Pokud mají data speciální rozdělení, nebo automatická kvalifikace neposkytne z pohledu uživatele dobré výsledky, je možné zadat hranice tříd ručně.

V programu ArcGIS, kde se tato metoda vyskytuje pod termínem *Manual*, se zadávají jednotlivé hranice tříd a ne rozsah (určují se tedy pouze jednotlivá čísla,

nikoli dvojce). Tím je zajištěno vytvoření plynule navazující stupnice. S jiným řešením přichází nekomerční software QGIS, jenž tuto metodu nenabízí přímo. Rozsahy jednotlivých tříd lze změnit při použití jakékoli metody. Toto řešení vede k možnosti vytvořit stupnici intervalovou s hiátem (mezerou), avšak je také možné změnit hranice tak, že záznam bude spadat do více intervalů (obr. 1.7).



Obr. 1.7: Ruční změna hranic intervalů v programu QGIS.

Manuální určení intervalů vnáší do klasifikace proměnnou ve formě otázky statistické znalosti dat. Pokud není rozložení hodnot analyzovaného souboru známé, pak se může stát, že v určité třídě budou spolu nesourodá data, která by v jedné třídě být neměla. Zásadní pomoc při ručním nastavení hranic přináší systém ArcGIS, který uživateli nabízí histogram, v němž jsou zakomponovány interaktivní ukazatele hranic, se kterými lze táhnutím myši měnit hodnoty hranic (obr. 1.5). Uživatel má tedy obsah jednotlivých tříd viditelně pod kontrolou.

Použitím této metody také mohou být upraveny hodnoty hranic vypočítané jinou klasifikační metodou. Zvláště v programu ArcGIS je tento postup vhodný, protože uživatel může dohlédnout na to, aby ruční změnou určité hranice nebylo změněno četnostní zastoupení tříd.

1.3.8 Směrodatná odchylka

Klasifikační metoda využívající průměru a násobků směrodatné odchylky je zakomponována do systému ArcGIS i QGIS. V modulu, který vznikl v rámci této diplomové práce, však zařazen není, a to kvůli těžko odhadnutelnému počtu tříd - modul *Kartogram* je omezen pouze devíti třídami⁶.

Software ArcGIS nabízí tuto metodu pod názvem *Standard deviation* a má jediný parametr - násobek směrodatné odchylky α (nabízené hodnoty jsou: 1; 1/2; 1/3 a 1/4). Dvě prostřední hranice vzniknou podle vzorce:

$$Q_1 = m + \frac{\alpha}{2} \cdot \sigma \quad (1.9)$$

$$Q_{-1} = m - \frac{\alpha}{2} \cdot \sigma, \quad (1.10)$$

kde m je aritmetický průměr sledovaného jevu a hodnota σ reprezentuje směrodatnou odchylku. Další hranice se vypočítají z hodnoty Q_1 (resp. Q_{-1}) kumulativním přičtením (resp. odečtením) hodnoty α . Výpočet probíhá dokud nejsou všechna data zařazena do tříd [13]. Např. pro soubor s průměrem $m = 9,81$ a směrodatnou odchylku $\sigma = 2,55$ bude šest vnitřních hranic při volbě násobku směrodatné odchylky $\alpha = 1/3$ vypadat takto (viz také obr. 1.8):

$$Q_1 = 9,81 + \frac{1/3}{2} \cdot 2,55 = 10,23 \quad (1.11)$$

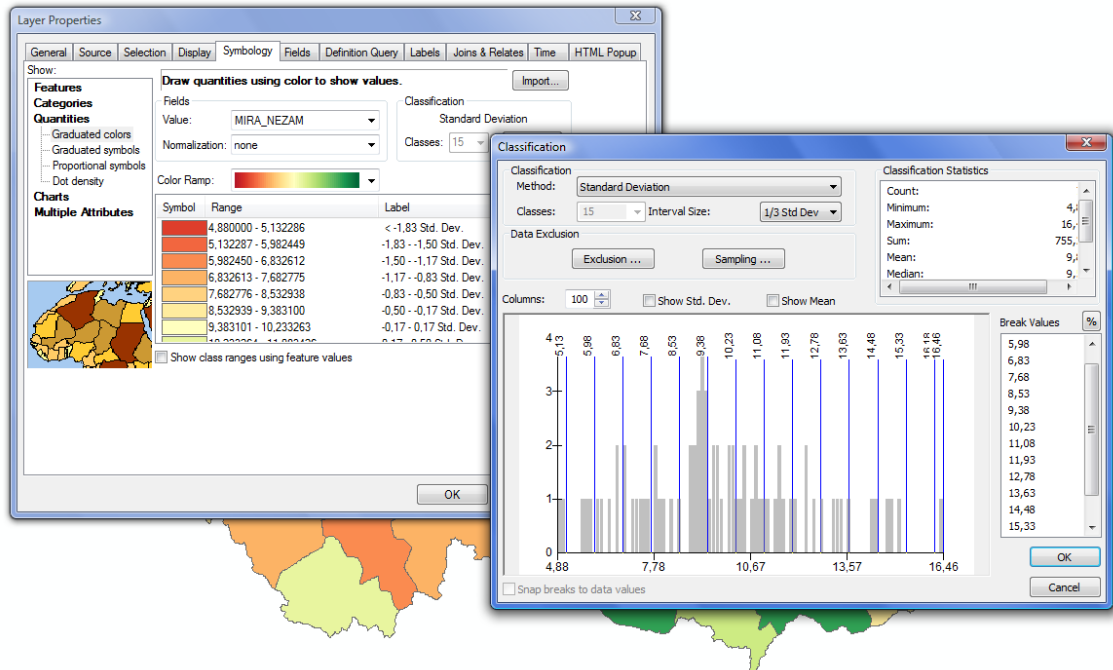
$$Q_{-1} = 9,81 - \frac{1/3}{2} \cdot 2,55 = 9,38$$

$$Q_2 = Q_1 + \alpha \cdot \sigma = 11,08 \quad Q_3 = Q_2 + \alpha \cdot \sigma = 11,93 \quad \dots \quad (1.12)$$

$$Q_{-2} = Q_{-1} - \alpha \cdot \sigma = 8,53 \quad Q_{-3} = Q_{-2} - \alpha \cdot \sigma = 7,68 \quad \dots$$

Určitá část okrajových hodnot je sloučena do jedné třídy (tyto okrajové třídy mají jiný rozsah než třídy vnitřní). Podle [13] jsou slučovány hodnoty přesahující $\pm 3\sigma$, testování této metody v systému ArcGIS poukázalo na to, že bývají spojeny hodnoty přesahující $\pm 2,5\sigma$. Avšak velikost okrajové části nebyla testováním přesně vypořádána.

⁶Barevné palety ColorBrewer, které jsou v modulu implementovány obsahují barevná schémata maximálně s devíti barvami.



Obr. 1.8: Ukázka klasifikační metody *Standard Deviation* v programu ArcGIS.

Program QGIS řeší tuto klasifikaci symetrickým přičítáním (resp. odečítáním) násobku směrodatné odchylky α k průměru (resp. od průměru), dokud není dosaženo maxima (resp. minima). Průměrná hodnota m zůstane jednou z hranic (Q_0). Hodnotu α nelze z uživatelské pozice ovlivnit, lze pouze volit počet tříd - ten však neodpovídá výslednému množství hranic.

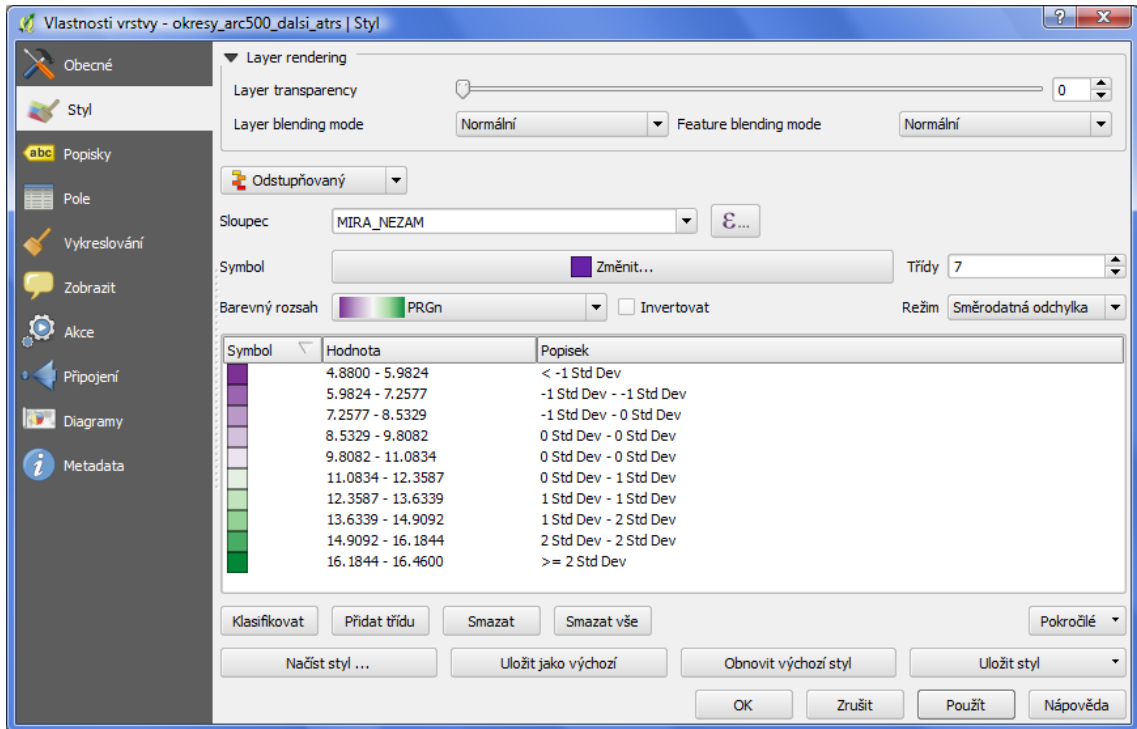
Např. pro soubor s průměrem $m = 9,81$ a směrodatnou odchylku $\sigma = 2,55$ bude pět vnitřních hranic⁷ při volbě $k = 7$ tříd vypadat takto (viz také obr. 1.9):

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= m + \alpha \cdot \sigma = 11,08 & Q_2 &= Q_1 + \alpha \cdot \sigma = 12,36 & \dots \\
 Q_{-1} &= m - \alpha \cdot \sigma = 8,53 & Q_{-2} &= Q_{-1} - \alpha \cdot \sigma = 7,26 & \dots
 \end{aligned}
 \tag{1.13}$$

1.4 Počet klasifikační tříd

Počet intervalů (klasifikačních tříd) k je velmi důležitý pro výslednou kvalitu kartogramu. Je závislý na typu dat nebo požadavcích zadavatele, záleží také na tom, kdo bude mapu číst a pro jaké záležitosti ji bude čtenář používat. Příliš malý i velmi

⁷Pátou hranicí je hodnota Q_0 , tj. aritmetický průměr.



Obr. 1.9: Ukázka klasifikační metody *Standard Deviation* v programu QGIS

vysoký počet tříd vede k degradaci výpovědní hodnoty mapy. Nízký počet tříd (2-3) zapříčiní přílišnou generalizaci informací. Na druhou stranu příliš velké množství intervalů (15–20) mapu znepřehlední a kartogram tak bude pro čtenáře nečitelný. Tuto skutečnost posiluje fakt, že lidské oko není schopné rozlišovat jemné rozdíly mezi barevnými odstíny.

Neexistuje obecné pravidlo, které by určovalo počet tříd, a názory především na maximální počet tříd se velice různí. V praxi se však užívá nejčastěji 4–10 intervalů. Existují výpočty, které pomohou odhadnout počet intervalů:

$$\begin{aligned}
 k &\approx \sqrt{n} \\
 k &\leq 5 \cdot \log n \\
 k &\approx 1 + 3,3 \cdot \log n,
 \end{aligned}
 \tag{1.14}$$

kde k je počet tříd a n je počet záznamů. Pro $n = 77$ (počet okresů ČR) jsou tyto hodnoty k rovny: 8,8; 9,4 a 6,2; pro $n = 14$ (počet krajů ČR): 3,7; 5,7 a 4,8. Program QGIS nabízí maximálně 999 tříd, zatímco ArcGIS 32 tříd. Podle [4] může 10 intervalů mapu zcela znepřehlednit a pro čitelnost doporučuje maximálně 6 tříd.

1.5 Barvy v kartogramech

V dnešní době moderních technologií se barev a obecně barevného značení v mapách využívá stále více. K tomu přispěla i skutečnost, že se výsledný mapový produkt nemusí šířit tištěnou formou, což je za předpokladu barevného tisku značně neekonomické, ale stále více je využívána mnohem úspornější elektronická komunikace. Na volbu správné barvy je třeba brát veliký zřetel. Barva v mapové kompozici má dvě základní funkce. Jednou je předání určité informace, tj. v případě kartogramů vjem intenzity vlastnosti jevu uživateli mapy pouhým pohledem bez delších analýz. Druhou funkcí barvy je předání většího estetického do mapové kompozice (v minulosti byla mapa považována za umělecké dílo). Kolorace mapy tedy může zvýšit její atraktivitu, což je v případě využití kartogramů např. pro propagační účely velice důležité. Celkové barevné řešení mapy vyvolávající určité pocity a emoce mnohdy tvoří hlavní kupní potenciál kartografického produktu. V kartografii se použití barev váže na promyšlený cíl mapy, cílovou skupinu uživatelů a na obsah zpracovaných dat. Je potřebné brát na vědomí, že barva v mapovém díle slouží k urychlení procesu příjmu informací [15].

Při tvorbě tematické mapy je třeba rozlišit, zda se bude vizualizovat jev kvalitativní nebo kvantitativní povahy.

1.5.1 Kvalitativní kolorace

Při obarvování dílčích územních celků nesoucí kvalitativní hodnoty nelze zanedbat obecné zásady kompozice barev [4]:

- nesmí se stýkat plochy stejného odstínu
- velké a malé plochy: Pro velká území se užívají málo syté barvy, naopak malé plochy se zvýrazňují tmavými a sytými barvami.
- největšího kontrastu dvou sousedních ploch dosáhneme použitím doplňkových barev.

Tab. 1.5: Ukázka barev užívaných pro kvantitativní rozdělení stáří porostu. Barvy jsou však přiřazeny kvalitativně.

Barva	Stáří porostů [roky]
žlutá	1 - 20
červená	21 - 40
zelená	41 - 60
světle modrá	61 - 80
světle hnědá	81 - 100
šedá	101 - 120
tmavě fialová	121 - 140
tmavě zelená	> 140

Automatizace procesu obarvení dílčích územních celků podle kvalitativního jevu za dodržení výše uvedených zásad by bylo velmi obtížná, ne-li nemožná. Oba testované programy nabízejí obarvení jednotlivých ploch podle unikátní hodnoty, avšak ani jeden do jisté míry nedodrжуje první bod uvedených zásad - dvě sousední plochy nesmí být obarveny stejným odstínem. Oba GIS řeší barevnou paletu náhodnými barvami (software ArcGIS nabízí volbu schématu obsahující barvy určitého barevného spektra), a tak nedojde k situaci, kdy dvě sousední plochy mají stejný odstín, avšak může se stát, že ponesou barvu velmi podobnou. Správného obarvení územních areálů dosáhneme především manuální volbou barev nebo opravou výsledku, který nám poskytne software.

V mnoha odvětvích jsou barvy určitých objektů nebo celé palety barev standardizovány a doporučuje se tuto konvenci neporušovat, aby nedošlo k pocitu nesrozumitelnosti nebo zmatení čtenáře. Existují však některé konvence, které jsou podle teorie tematické kartografie řešené chybně (tab. 1.5). Standardizované barvy jsou např. v mapách geologických, lesnických, nebo obecně geografických. Velmi propracovaná volba barev je zavedena v mapách životního prostředí [4]. Dalším příkladem může být mapa zvýrazňující teploty - odstíny modré a zelené se užívají pro vizualizaci nízkých teplot, naopak odstíny barvy červené pro teploty vysoké [4].

Při tvorbě barevné palety je kromě tónů barev potřeba řešit také počet použitých barev. Některé barevné zvyklosti jeví tuto otázku řeší za uživatele (podnebné pásy, půdní typy nebo stáří porostů – tab. 1.5). Naopak u jevu bez jakéhokoli vztahu k barvám je možné mapu obarvit tolika barvami, kolik je v díle územních prvků; takový produkt by však byl velmi nepřehledný. V této problematice se nabízí použití teorie čtyř barev, která byla prvně použita již v roce 1832 Francisem Guthriem [9]. Od té doby proběhlo mnoho pokusů, které se snažily tuto teorii vyvrátit, vždy však neúspěšně. Za pomoci této metody je možné obarvit všechny plochy pouze čtyřmi barvami tak, že žádná dvě sousedící území⁸ nebudou zvýrazněna stejnou barvou. Tuto teorii mohou však narušit územní celky, které jsou rozdělené do více ploch (např. Rusko a Kaliningradská oblast). Tento vzniklý problém lze případně vyřešit manuálním přebarvením plochy. V praxi se teorie čtyř barev neužívá, nízký počet barev působí strojeně a monotónně. Podle [15] je vhodné použít sedm až deset barev.

1.5.2 Kvantitativní kolorace

Obarvení plochy podle kvantitativního jevu je v kartografii velmi častou záležitostí. Je to jedna z nejběžnějších vizualizací statistických dat, kdy se čtenáři snadno předá informace typu „menší - větší“, „méně - více“ nebo „méně důležitý - důležitější“.

Pro tento účel byly navrženy barevné stupnice, jež zastřešují rozsáhlé spektrum možných barevných řešení. Tyto stupnice lze rozdělit na sekvenční a divergentní. Sekvenční stupnice lze charakterizovat postupnou změnou intenzity pouze jedním směrem - achromatická (stupně šedi), jednobarevná (odstíny jedné barvy), vícebarevná (sousedící barvy z necelé poloviny Ittenova kruhu⁹), spektrální (všechny barvy z barevného kruhu). Divergentní (bipolární) stupnice se vyznačují dvěma směry barevné intenzity [15], které vycházejí ze střední hodnoty E - průměru, mediánu, nebo obecně uživatelem zadané hodnoty (např. 100 %). Tato hraniční hodnota může ležet buď přímo mezi barvami (zpravidla sudý počet tříd), nebo v neutrální barvě

⁸Za souseda je třeba brát pouze plochu, která má s jinou plochou společnou hranici a ne pouze jeden bod - takových sousedů by mohlo vzniknout nekonečně mnoho.

⁹Barevný kruh obsahující postupně barvy: červená - oranžová - žlutá - zelená - modrá - fialová

(zpravidla lichý počet barev). V takovém případě je třeba při volbě dvou částí barevné palety dbát na to, aby prostřední hranice nebudila dojem, že pro dané území neexistují data.

Z výzkumu z roku 1990, který si kladel za jeden z cílů zjistit, jaká stupnice je pro čtenáře nejvhodnější, vyplývá, že se snižujícím se počtem tříd stoupá potenciál mapy předat informaci. Nejefektivnějšími stupnicemi byly určeny jednobarevná a achromatická. Tyto stupnice podle výsledků výzkumu působí nejespořádaněji a jsou pro zvýraznění kvantitativního jevu nejefektivnější. Tento výzkum potvrzuje teorii popsanou v [4]. Nejjednodušším řešením je použít pouze odstíny jedné barvy, kdy je vhodné dodržet zásadu: čím vyšší intenzita jevu, tím vyšší intenzita barvy. Při nedodržení této zásady dojde k tzv. propadnutí barev (obr. 4.3), což má za následek výrazné zhoršení přehlednosti mapy [5]. Pokud je potřeba použít odstínů dvou barev, pak je vhodné užít studených barev pro nízké hodnoty a teplých barev pro vysoké hodnoty (např. odlišení zvýraznění záznamů, které jsou pod střední hodnotou a nad střední hodnotou; podprůměrná - průměrná - nadprůměrná naděje dožití). V případě černobílé stupnice (stupně šedi) se může použít barva černá a bílá, ačkoli by se černá měla používat především v popisech mapy [15].

Geografické informační systémy ArcGIS a QGIS nabízejí širokou škálu předdefinovaných barevných palet a v obou těchto programech je také možné vytvořit novou libovolnou paletu zahrnující i několik barevných odstínů, což především u začínajících tvůrců kartogramů vede k použití zcela nevhodných nesourodých barevných palet (červená - zelená - modrá - černá) [4].

Uživateli může při výběru barevného pojetí mapy a konkrétní barevné stupnice pomoci tabulka 1.6, která popisuje psychologii působení barev. Zvolená barva může např. vyvolat pocit tepla, chladu, určitého stupně vzrušení atd.

1.5.3 ColorBrewer

S možným řešením skladby barev na barevné paletě přichází americká profesorka univerzity v Pensylvánii, Cynthia Brewer. ColorBrewer, jak jsou barevné palety pojmenovány, obsahují 18 stupnic sekvenčních, 9 divergentních a 4 stupnice kvalitativní.

Tab. 1.6: Psychologické působení barev podle [5]

barva	vyvolává pocit	vyjadřuje
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	dálku, hloubku, chlad
fialová	znepokojení, neklidu, melancholie, uzavřenosti	chlad, pasivitu
červená	energie, vzrušení, prudkosti, moci, 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	probuzení, progresivity, spravedlivosti, 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

Tab. 1.7: Rozložení barev ve schématech ColorBrewer. Barevné schéma, jehož barvy se použijí pro obarvení ploch, je složeno z barev, u kterých je pro zadaný počet tříd tečka.

Barva			Počet tříd						
r	g	b	3	4	5	6	7	8	9
247	252	253						•	•
237	248	251		•	•	•	•		
224	236	244	•					•	•
191	211	230				•	•	•	•
179	205	227		•	•				
158	188	218	•			•	•	•	•
140	150	198		•	•	•	•	•	•
140	107	177					•	•	•
136	86	167	•		•	•			
136	65	157		•			•	•	•
129	15	124			•	•			•
110	1	107					•	•	
77	0	75							•

Pro využití barev ColorBrewer v modulu *Kartogram* byly analyzovány stupnice sekvenční. Každá ze sekvenčních stupnic obsahuje celkem 13 barev a podle počtu klasifikačních tříd k je z této stupnice k barev vybráno - tím vznikne jedno barevné schéma. ColorBrewer obsahuje celkem 165 barevných schémat (stupnice sekvenční, divergentní i kvalitativní). Např. barevné schéma obsahující $k = 6$ barev (tj. dojde k obarvení 6 klasifikačních tříd) vznikne vybráním barev č. 1, 3, 5, 6, 8 a 10 z dané sekvenční stupnice. Přehled barevných schémat pro stupnici s názvem BuPu (modro – purpurová) je v tabulce 1.7.

Všechna barevná schémata jsou stažitelná z webových stránek projektu ColorBrewer [2] (obr. 1.11) v sekci *downloads* - k dispozici je několik formátů pro využití

v různých výpočetních prostředích: Excel, ArcGIS, CSS, JSON, JavaScript, Carto-CSS.

V tabulkové aplikaci Excel jsou barevná schémata řazena podle názvu barevné palety v abecedním pořadí (Accent, Blues, BrBG, BuGn, BuPu atd.). Z druhého a třetího sloupce lze vyčíst počet tříd a typ barevné stupnice (sekvenční, kvalitativní, divergentní - seq, qual, div). V sedmém až devátém sloupci jsou napsány hodnoty RGB pro příslušné barevné schéma. Náhled do souboru je na obr. 1.10.

Pro software ArcGIS je připraven soubor typu *Style*, který lze mezi využitelné styly v systému zařadit např. pomocí nástroje *Style Manager* (menu *Customize*). Všechna barevná schémata se následně načtou mezi barevné palety dostupné při tvorbě kartogramu (Vlastnosti vrstvy - karta *Symbology* - volba *Quantities - Graduated colors*). Při použití těchto schémat lze pro optimální kombinaci barev vybrat paletu, která obsahuje tolik barev, kolik je nastavených klasifikačních tříd. Při volbě schématu o vyšším počtu barev nedojde k chybě, avšak barvy budou mírně odlišné, naopak pokud uživatel vybere schéma s nižším počtem barev, dojde k duplicitě. Důležité je nezvolit počet tříd vyšší než devět, jelikož barevné stupnice ColorBrewer neobsahují schémata s více než devíti barvami. V takovém případě dojde opět k duplikování téže barvy v několika po sobě jdoucích intervalech - to je pro vytvoření kartogramu nepřijatelné. Pokud je nutné mít více než devět tříd, pak je možné zvolit paletu s plynulými přechody - ta je založena na barvách ColorBrewer a umožňuje bez potíží zadat vyšší počet tříd než devět. Avšak při použití palety s plynulými přechody pro menší počet tříd dochází k barevným odlišnostem od barevných schémat ColorBrewer.

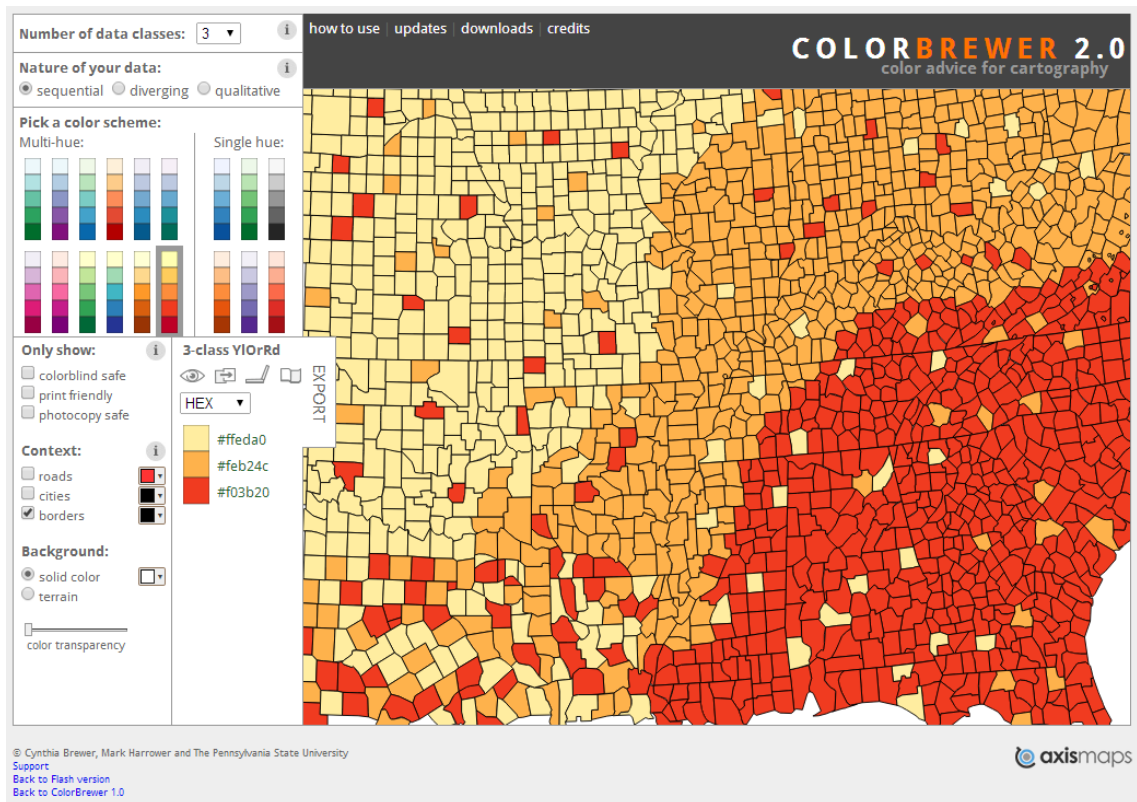
Barevná schémata ColorBrewer jsou dostupná také v systému QGIS, který má barvy implementovány již v instalaci programu a není potřeba načítat schémata externě. ColorBrewer lze nalézt ve vlastnostech vrstvy: karta *Style*, volba *Graduated*. Většina nabízených barevných palet jsou právě z projektu ColorBrewer. Není třeba zde hlídat počet tříd, protože jsou zde barvy zastoupeny pomocí plynulých přechodů a tím pádem není volba barevného schématu závislá na počtu klasifikačních tříd. Palety, které nebyly zařazeny do hlavní nabídky, lze najít v rolovacím menu pod

položkou *New color ramp*: poté *cpt-city* a v dialogovém okně *cpt-city color ramp* karta *All by author*. Palety ColorBrewer jsou pod označením *cb*.

Barevné stupnice ColorBrewer (sekvenční) jsou součástí modulu *Kartogram* (obr. 3.3), který vznikl v rámci této diplomové práce.

59				7 L	8	69	148		
60	Blues	8 seq		1 A	247	251	255		
61				2 C	222	235	247		
62				3 D	198	219	239		
63				4 F	158	202	225		
64				5 G	107	174	214		
65				6 H	66	146	198		
66				7 J	33	113	181		
67				8 L	8	69	148		
68	Blues	9 seq		1 A	247	251	255		
69				2 C	222	235	247		
70				3 D	198	219	239		
71				4 F	158	202	225		
72				5 G	107	174	214		
73				6 H	66	146	198		
74				7 J	33	113	181		
75				8 K	8	81	156		
76				9 M	8	48	107		
77	BrBG	3 div	2	1 E	216	179	101	Diverging	
78				2 H	245	245	245		
79				3 K	90	180	172		
80	BrBG	4 div	2,5	1 C	166	97	26		
81				2 F	223	194	125		
82				3 J	128	205	193		
83				4 M	1	133	113		
84	BrBG	5 div	3	1 C	166	97	26		
85				2 F	223	194	125		
86				3 H	245	245	245		
87				4 J	128	205	193		

Obr. 1.10: Barevné palety ColorBrewer ve prostředí programu Excel.



Obr. 1.11: Barevné palety ColorBrewer ve webovém prostředí.

2 MISYS

Grafický systém MISYS vyvíjený firmou GEPRO spol. s r.o. pracuje obvykle s informacemi o majetkoprávních vztazích, o skutečném stavu a rozvoji území. K dispozici je samostatná i síťová verze instalace; uživatelům, kteří nebudou chtít editovat data, je pro nekomerční použití určena prohlížeč verze MISYS-VIEW dostupná zdarma na webových stránkách firmy [10] .

V současné době nenabízí žádná z verzí systému MISYS funkci určenou přímo k tvorbě kartogramu.

2.1 Obarvení plochy v systému MISYS

MISYS nabízí dvě možnosti obarvení plochy. Ani jedna z těchto funkcí konkrétně neslouží k tvorbě kartogramu, avšak jejich využití k tomuto účelu není zcela vyloučené. Zvláště druhá níže uvedená, tj. *Výplň plochy dle atributů*, se za jistých okolností dá s úspěchem využít.

2.1.1 Výplň plochy

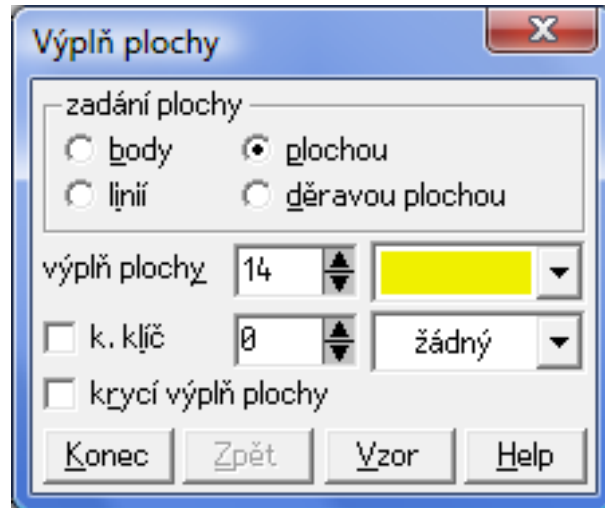
Tato funkce slouží k obarvování uzavřeného obrazce, a to několika způsoby:

- body: vybráním minimálně tří bodů
- linií: kliknutím na linii konkrétního uzavřeného polygonu
- plochou: kliknutím na plochu
- děravou plochou: kliknutím na děravou plochu¹.

V každém z těchto případů se založí nový objekt ve vrstvě, která je vybrána při volání funkce.

Tuto funkci najdeme v menu *Výkres* pod položkou *Plocha*.

¹Plocha obsahující uzavřený polygonový tvar.



Obr. 2.1: Výplň plochy v systému MISYS

2.1.2 Výplň plochy dle atributů

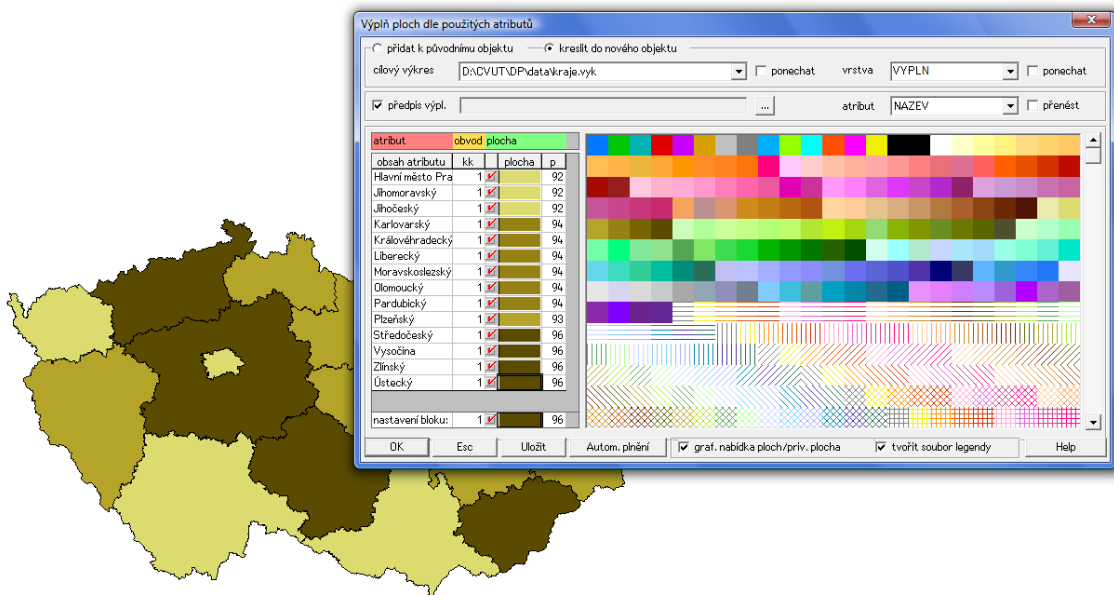
Ke každému objektu výkresu je možno připojit hodnotu atributové tabulky a lze tak propojit popisné informace s prostorovými prvky. Druhou možností, jak přiřadit plošnému objektu barvu, je vyplňování plochy právě dle atributů (obr. 2.2). Každý objekt obsahuje hodnoty atributů, které si můžeme přečíst např. v atributové tabulce nebo příkazem *atr* v konzoli a následným kliknutím na objekt.

Dialogové okno *Výplň ploch dle použitých atributů* přináší několik nastavení, z nichž nejpodstatnější je výběr atributu, jehož unikátní hodnoty se zobrazí v tabulce v levé části okna. Každé z těchto unikátních hodnot lze přiřadit barvu dvěma způsoby, a to ručně, např. pomocí *grafické nabídky ploch*, nebo s využitím *Automatického plnění*.

Automatické plnění nabízí zadání barevné řady z palety barev, kdy se zadává počáteční a koncové číslo barvy a krok a funkce automaticky přiřadí barvu každému unikátnímu záznamu. Např. pokud je uživatelským cílem obarvit každý kraj jinou barvou, v dialogovém okně *Automatické plnění* může vybrat barvu číslo 17 a barvu číslo 30 (nebo vyšší) a krok = 1. Kraje se tedy obarví řadou barev s čísly 17 až 30, kdy číslo barvy udává pořadí barvy v tabulce barev. Uživatelsky nepříjemné může být zjištění čísla barvy, které se do dialogu zadává. Není jiná možnost, než na určitou barvu kliknout v *grafické nabídce ploch* - přiřadit jí tak jednomu ze záznamů

- a následně číslo přečíst v tabulce unikátních hodnot. Značnou nevýhodou této funkce je absence inverzních barev, tj. možnosti otočit barevné odstíny.

Dalším nastavením v dialogu *Výplň ploch dle použitých atributů* je možnost kreslení do nového objektu nebo do nového výkresu a případně přenést hodnoty vybraného atributu. Aktuální nastavení barev lze uložit pro příští použití tlačítkem *Uložit*. Soubor s příponou TAC lze později kdykoli využít. Zaškrtnutím pole *tvorit soubor legendy* získáme možnost vytvořit soubor, pomocí kterého lze ihned, nebo později vykreslit legendu k dané mapě. Tento postup však vede k tomu, že se do popisů legendy zapíše řetězec všech unikátních hodnot, které se mají obarvit stejnou barvou. Legendu je tedy nutné následně ručně modifikovat.

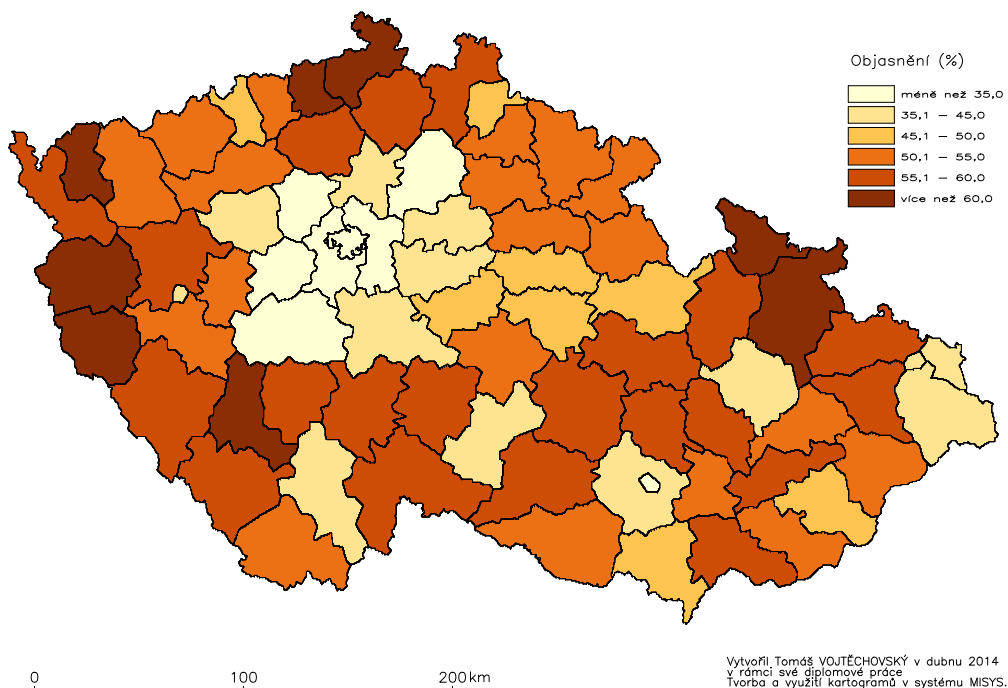


Obr. 2.2: Výplň ploch dle atributů v systému MISYS

S výše uvedenými funkcemi je možné vytvořit kartogram (obr. 2.3), ale velké množství aspektů nám záměr může snadno velmi znepříjemnit, ne-li znemožnit. Největším problémem je skutečnost, že po výběru hodnotícího jevu přiřazujeme barvu každému unikátnímu záznamu. Rozdělení do tříd může tedy proběhnout pouze ručně, nikoli automaticky. Možným elegantnějším řešením může být naplnění nového atributového sloupce hodnotami typu *INT* (např. 1–5) a následné využití funkce *Výplň plochy dle atributů*. Následně stačí každému z unikátních záznamů přiřadit barvu.

Další komplikací při tvorbě kartogramu pomocí této funkce je fakt, že dialog ne-nabízí žádnou předdefinovanou paletu barev, a tak se uživatel musí spolehnout na ruční výběr barev nebo automatické plnění - tím však může dojít k četným potížím, které jsou popsány v kapitole 1.5 (nevhodně sestavená barevná stupnice, propadnutí barev atd.).

Objasnění kriminálních případů v okresech ČR z roku 2013



Obr. 2.3: Kartogram vytvořený v systému MISYS.

3 Modul *Kartogram*

Omezené možnosti systému MISYS vytvořit kartogram vedly k rozhodnutí napsat vlastní modul na tvorbu kartogramů. Modul lze naprogramovat pomocí účinného programovacího jazyka Kokeš Basic, jehož základem je dobře známý Basic. Při vývoji vlastního modulu lze použít poměrně velké množství interních funkcí systému MISYS, což vede k možnosti vytvořit modul, s jehož pomocí je možné prakticky plně řídit program MISYS.

Při vývoji modulu bylo počítáno s tím, že uživatel modulu *Kartogram* bude pracovat s objektovou mapou. Tou je výkres složený z jednotlivých objektů, kterým je možno přiřadit vlastnosti sledovaného jevu pomocí atributové hodnoty. Objektovou mapou můžeme nazvat např. importovanou vrstvu formátu shapefile. Objektovou mapu lze také vytvořit z libovolného výkresu pomocí funkce *Tvorba objektové mapy*, která se nachází v menu *Nástroje* pod položkou *Topologické funkce*.

První verze tohoto modulu vznikla v rámci předmětu Nadstavby GIS (153YNGS) na Stavební fakultě ČVUT v roce 2012. Tato verze je ke stažení ve *Výsledcích projektů* v prostředí Moodle [16].

3.1 První verze modulu

Pro správnou funkčnost první verze je nutné mít načtenou objektovou mapu¹ obsahující atributovou tabulku se sloupcem s číselnými hodnotami (např. hustota zalidnění v jednotlivých okresech nebo výnos řepky olejky na hektar v krajích ČR). Jiné sloupce, než ty, které obsahují pouze numerické znaky, nebudou načteny.

V prvním rolovacím seznamu je nutné zvolit jeden ze sloupců této tabulky. Výběrem položky v druhém výběrovém poli určíme počet tříd, do kterých budou vstupní data rozdělena. Každé třídě bude přidělena barva z palety barev, kterou je nutné zvolit ve třetím comboboxu. Seznam obsahuje tři předdefinované palety barev, které jsou tímto způsobem vždy snadno k dispozici. Kliknutím na položku *Vlastní* je

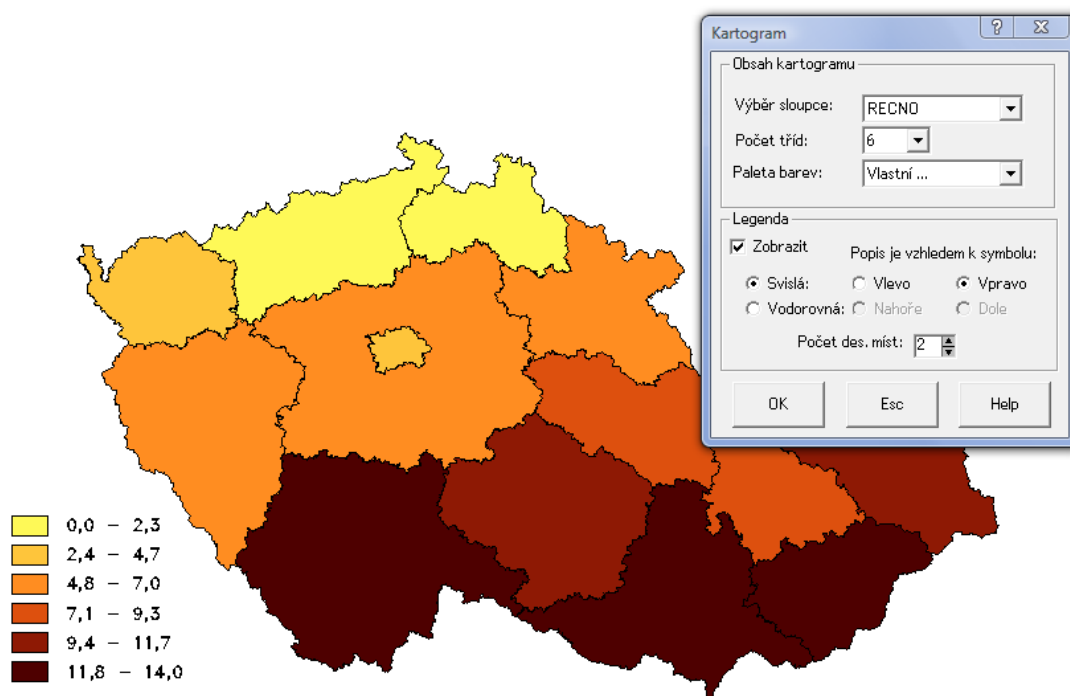
¹Např. ESRI shapefile obsahující polygonovou vrstvu.

možné zvolit paletu barev ze souboru, která bude následně do seznamu palet přidána.

Pokud jsou všechny tři položky vybrány, zpřístupní se tlačítko *OK*.

Ovládacími prvky ve skupině *Legenda* je možné nastavit vzhled legendy, a to zda bude svislá, vodorovná, zda bude popis legendy vlevo, vpravo, nahoře či dole. Také je možné zadat, kolik desetinných míst bude v popisu legendy uvedeno.

Stisknutím tlačítka *OK* se vybarví jednotlivé územní celky příslušnou barvou z palety barev, poté je uživatel vyzván k umístění legendy. Po vykreslení legendy se opět zobrazí dialogové okno *Kartogram* (obr. 3.1).



Obr. 3.1: První verze modulu *Kartogram*, která vznikla v rámci předmětu *Nadstavby GIS* v roce 2012.

Tato verze nenabízí možnost vybrat si klasifikační metodu - data jsou roztříděna pomocí metody *Stejně intervaly - počet tříd*. Nabízí také malé množství předdefinovaných barevných palet - pouze tři, což je vzhledem k psychologickému vjemu barev velmi nedostačující.

3.2 Stávající verze modulu

Modul *Kartogram* byl vyvinut jako ukázka toho, jak by tvorba kartogramů v systému MISYS mohla fungovat. Ovládání vytvoření kartogramu je dostupné v dialogovém okně, které se zobrazí po spuštění modulu (obr. 3.2 a 3.3).

Kartogram pracuje s objektovou mapou, která obsahuje plochy. Pokud je v projektu načteno více výkresů, potom je pro modul aktivní pouze ten, který je otevřen jako první.

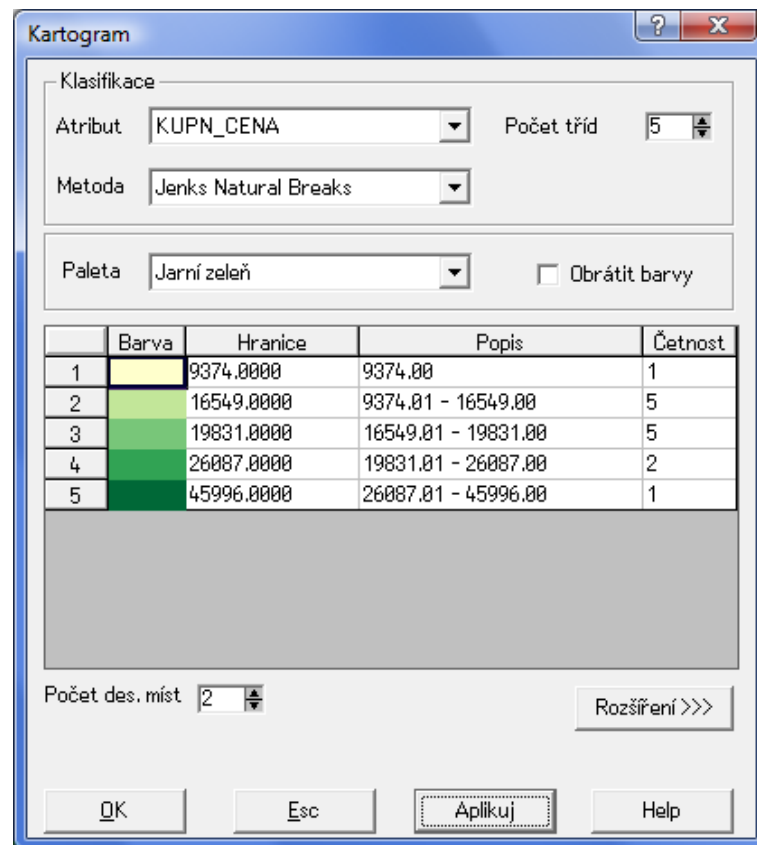
3.2.1 Ovládání modulu *Kartogram*

Ve skupinovém rámečku Klasifikace je možné nastavovat analyzovaný jev, počet tříd, klasifikační metodu, krok, barevnou paletu, počet desetinných míst v popisu intervalů a případně zobrazit rozšíření usnadňující tvorbu kartogramu.

- V rozbalovacím seznamu s názvy atributů se zobrazují jen ty jevy, jejich hodnoty lze uvažovat jako kvantitativní - jsou tedy vynechány všechny sloupce z atributové tabulky, jejichž hodnoty se nedají považovat za číselné. Všechny hodnoty atributů jsou v systému MISYS ve formátu *string* (textový formát), a tak musí být testován každý záznam atributové tabulky, zda jej lze považovat za číslo. Tuto informaci lze teoreticky získat také z tzv. technologického atributu, ten se však téměř nepoužívá a pro uživatelsky příjemné tvoření kartogramu by jeho zavedení bylo zbytečně pracné.
- Klasifikační metodu lze zvolit v dalším kombinovaném seznamu. V nabídce jsou metody, které počítají hranice s konstantní vzdáleností (*Stejné intervaly - třídy*, *Stejné intervaly - krok*), metody, jejichž užitím vzniknou intervaly s proměnlivou velikostí (*Kvantil (stejná četnost)* a *Jenks Natural Breaks*) a také je v nabídce *Manuální určení tříd*.
- Přírůstkové pole (spinbox) umožňuje volit počet tříd. Nejmenší možný počet tříd je 2, nejvyšší 9. Tento prvek bude pro uživatele needitovatelný, pokud zvolí metodu *Stejné intervaly - krok*; počet tříd se automaticky spočítá v závislosti na zvolené velikosti proměnné krok.

- Velikost intervalu při zvolené metodě *Stejné intervaly - krok* lze měnit v editačním poli, které se zobrazí po vybrání příslušné metody. Tato hodnota je omezena svým maximem a minimem tak, aby dopočítaný počet tříd byl v rozmezí 2–9.

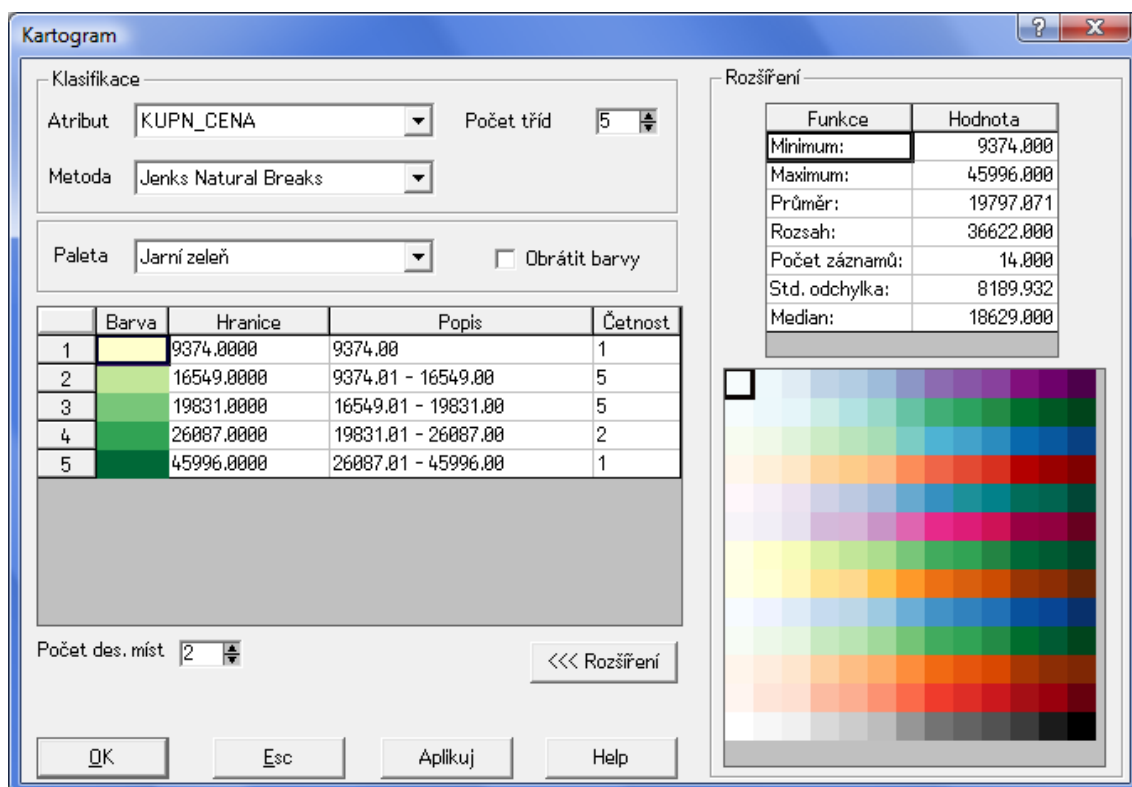
Změnou jakéhokoli z výše zmíněných ovládacích prvků se automaticky přepočítají hodnoty hranic jednotlivých tříd a zapíše se do tabulky hranic.



Obr. 3.2: Modul *Kartogram*

V druhém skupinovém rámečku je možné zvolit jednu z předdefinovaných barevných palet (ColorBrewer [2] - více o těchto paletách v kapitole 1.5.3). Přepínačem *Otočit barvy* lze invertovat barvy vybrané palety.

Tabulka ve spodní části dialogového okna zobrazuje jednotlivé hranice vypočítané klasifikační metodou, dále popis rozsahu konkrétního intervalu, četnostní zastoupení objektů v příslušném intervalu a barvu, kterou budou plochy obarveny.



Obr. 3.3: Modul *Kartogram* s rozšířením

Dvojklikem do druhého sloupce se spustí úprava příslušné hranice, po ukončení editace se hranice seřadí vzestupně. Pokud bude zadáno číslo mimo rozsah minimum–maximum, hodnotou hranice se stane příslušný extrém.

Pod tabulkou se nachází další dva ovládací prvky, a to přírůstkové pole pro změnu desetinných míst v popisu rozsahu třídních intervalů (třetí sloupec) a tlačítko pro rozšíření dialogového okna *Kartogram*. Ve skupinovém rámečku *Rozšíření* se nachází tabulka s popisnými statistickými údaji (minimum, maximum, průměr, rozsah, počet záznamů, směrodatná odchylka a medián). Posledním ovládacím prvkem je grafická nabídka barev, které jsou k dispozici pro vytvoření kartogramu. Jedná se o všechny barvy obsažené v nabízených předdefinovaných barevných paletách. Dvojklikem na políčko s barvou se barva přenese do aktivního řádku v tabulce hranic.

Tlačítkem *Aplikuj* se provede obarvení jednotlivých ploch bez zavření dialogového okna. Tlačítko *OK* zajistí vytvoření kartogramu a následné zavření okna. *Esc* zavře okno beze změn. Tlačítkem *Help* se vyvolá nápověda k nastavení dialogového okna a také k tvorbě kartogramů.

3.3 Plánovaný vývoj

Z dosavadních konzultací se společností GEPRO spol. s r.o. vyplývá snaha o začlenění stávající verze makra do funkce *Výplň plochy dle atributů* formou přepínače a nového dialogu.

Současná verze modulu *Kartogram* - popsána v kapitole 3.2 - je vyvinuta pro tvorbu jednoho typu kartogramu, a to jednoduchého homogenního. Tomu jsou přizpůsobené možnosti klasifikačních metod (*Stejně intervaly - počet tříd*, *Stejně intervaly - krok*, *Kvantil (stejná četnost)*, *Jenks Natural Breaks* a *Manuální určení tříd*) a volba barevné stupnice - třináct palet ColorBrewer sekvenčního typu.

3.3.1 Volba typu kartogramu

Rozšíření stávající verze modulu by mohlo přinést především možnost volby typu kartogramu, což by přineslo konstrukci nových produktů tematické kartografie, které by blíže popisovaly sledovaný jev (resp. jevy). Výsledný produkt by tak předával čtenáři komplexnější informace a vzrostla by také užitková hodnota mapy. Při vhodné kombinaci výběru typu kartogramu a statistického souboru lze dosáhnout vyšší schopnosti předat čtenáři určitou informaci. Zvláště kartogram složený přináší nejen zvýraznění více kvantitativních jevů zároveň, ale také lze znázornit určité vztahy mezi více atributy (Závislost naděje dožití mužů a žen na míře nezaměstnanosti - obr.1.2). Geografické informační systémy ArcGIS a QGIS nabízí přímo pouze vytvoření kartogramu jednoduchého homogenního.

Nepřímo a s obtížemi je možné v programu ArcGIS sestrojít také kartogram jednoduchý kvalifikační (kapitola 1.2), avšak není možné zadat hraniční hodnotu, která vizuálně rozdělí soubor dat na dvě části - touto hodnotou je v systému ArcGIS pouze průměr, ačkoli by mohlo být uživatelským požadavkem za tuto hodnotu určit např. 100 % nebo 0. Tento typ kartogramu úzce souvisí s volbou barevné stupnice (je vhodné využít divergentní) a možnostmi zvolené kvalifikační metody (kapitola 3.3.2).

Zavedením kartogramu složeného by bylo možné zvýraznit až tři jevy zároveň. Využít by se dalo hustoty šrafování ve dvou různých směrech a barevné stupnice,

kteřou by byla plocha obarvena. Snadno by se rozeznaly oblasti, které obsahují např. extrémní datových souborů (obr. 1.2).

Ačkoli pomocí systémů ArcGIS a QGIS lze sestavit kartogram jednoduchý kvalifikační a kartogram složený, zavedením volby typu kartogramu by se jejich produkce zvýšila a v mnohých případech by vzrostl potenciál vizualizace analyzovaných dat.

3.3.2 Možnosti intervalové stupnice

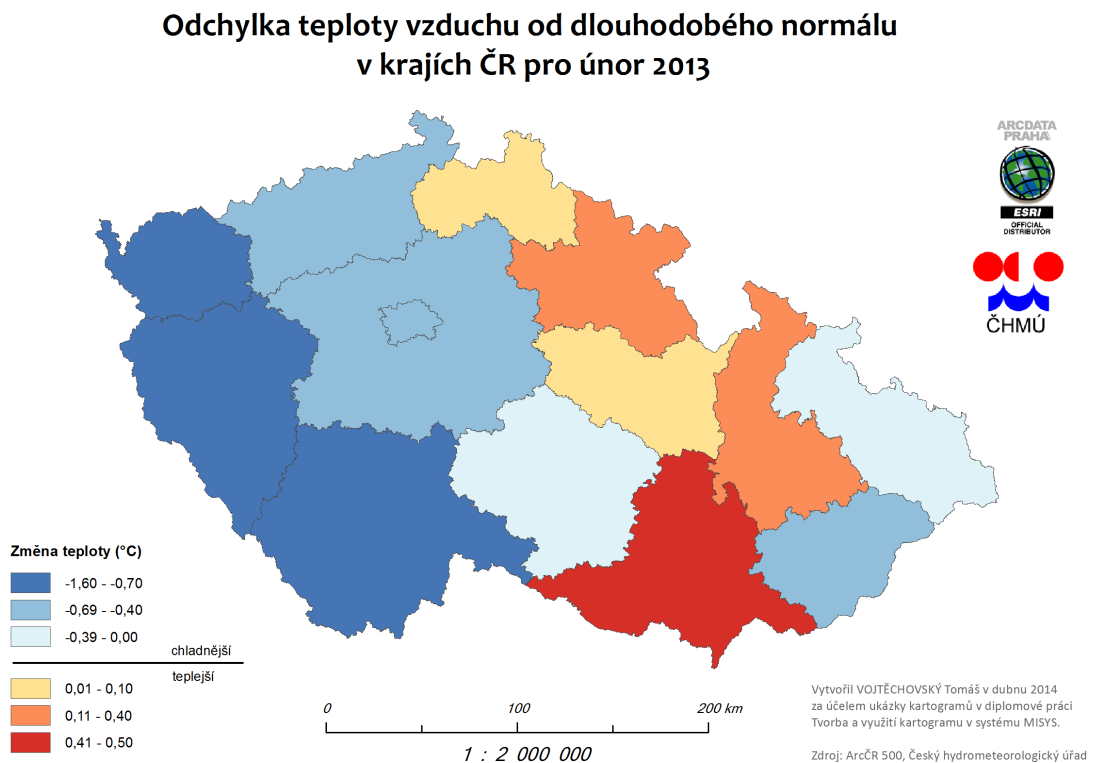
Kartografické dílo není produkt pouze analytického zaměření - při jeho tvorbě je vhodné dohlížet také na estetický vjem, který produktu dodává na přitažlivosti pro cílovou skupinu čtenářů. S tím je ve dvou bodech spojena použitá klasifikační metoda a také následná úprava hranic.

- Četnostní zastoupení záznamů v jednotlivých třídních intervalech přímo ovlivňuje rozložení barev v mapě. Použitím nevhodné klasifikační metody může být jedna barva z barevné palety zcela vynechána, nebo se naopak použije pro obarvení většiny ploch.
- Zvýšení estetičnosti a přehlednosti mapy docílíme také vhodnou úpravou popisků v legendě².

Se zavedením kartogramu kvalifikačního musí být definována rovněž nová proměnná - střední hodnota E , která soubor dat rozdělí na dvě části. Touto hodnotou může být jedna z popisných charakteristik sledovaného statistického znaku (průměr, medián, či modus) nebo číslo uživatelem zvolené (např. 0, nebo 100). Tato proměnná by mohla být s menšími či většími komplikacemi začleněna do všech³ klasifikačních metod zmíněných v kapitole 1.3. Např. kombinací kvalifikačního kartogramu a klasifikační metody *Kvantil (stejná četnost)* by mohla výsledná mapa vypadat jako na obr. 3.4.

²Při změně hodnot hranic je třeba sledovat změnu četností prvků v intervalech, aby nedošlo ke znehodnocení výsledků zvolené klasifikační metody.

³V metodě *Stejně intervaly - počet tříd* nebude mít hodnota E vliv na hodnoty hranic.



Obr. 3.4: Ukázka kvalifikačního kartogramu s využitím kvalifikační metody *Kvanil* (stejná četnost)

3.3.3 Zvýraznění ploch

Modul *Kartogram* ve své stávající verzi je vytvořen pro vyjádření kvantitativního jevu. Kvantitativní hodnoty vyžadují zcela jiné barevné pojetí a nelze tyto typy jevů zaměňovat. Dále se text zabývá pouze tvorbou kartogramů s kvantitativní povahou dat.

V současné době se plochy při vytváření kartogramu zvýrazňují především barvou, která má spolu s vhodně zvolenou klasifikační metodou hlavní podíl na dobrém výsledku. Barevných stupnic, ze kterých si můžeme vybírat v GIS programech, je velké množství (v řádu desítek) a teoreticky jakoukoli další lze manuálně definovat. O kvalitě mapového produktu nerozhodují proměnné klasifikační metoda a barevná stupnice samostatně, nýbrž jejich vztah. Při tvorbě kartogramu je důležité používat barevné stupnice, např. divergentní typ, v kombinaci s klasifikací, která si takové stupnice vyžaduje.

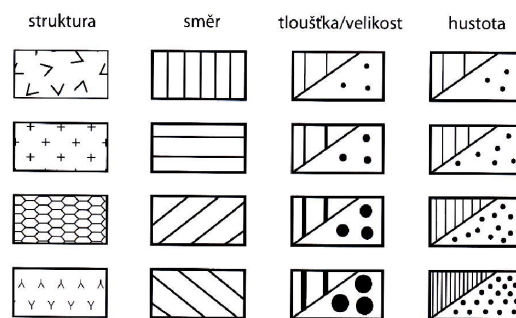
Vztah mezi zvolenou klasifikací a barevnou stupnicí je zakomponován v systému ArcGIS, kdy při metodě *Standard Deviation* uživatel může vybírat především z divergentních barevných stupnic. Interval, kterým prochází průměr je zde obarven barvou s nejnižší sytostí a tím dojde také k vizuálnímu rozdělení dat, která jsou nadprůměrná, podprůměrná nebo spadají do středového intervalu. Tato třída vždy symetricky obklopuje průměrnou hodnotu všech záznamů a nelze tak dosáhnout toho, aby hraniční hodnota stála přímo mezi barvami stupnice. Žádná jiná metoda neobsahuje proměnnou, která by určovala hraniční hodnotu sloužící k rozdělení dat na dvě části. Program QGIS vztah mezi určitou klasifikační metodou a typem barevné stupnice neřeší, a tak může vlivem uživateli neznalosti vzniknout mapa s nevhodným bipolárním obarvením, která bude na čtenáře působit zmateně nebo nesrozumitelně.

Se zavedením kartogramu složeného by měla přijít rovněž automatická nabídka zvýraznění ploch pomocí rastru (šrafování, případně tečkování). Rastrem je možné reprezentovat jak data kvalitativního tak kvantitativního charakteru plošných jevů. Šrafování je tvořeno souběžnými, nebo křížícími se liniemi. V případě tečkování jsou znaky (tečky, křížky, obecně jakékoli symboly) na ploše rozmístěny v pravidelné mřížce, nebo jsou rozprostřeny nepravidelně.

Podle [15] mají rastry čtyři parametry (grafické proměnné), které slouží k odlišení jednotlivých rastrových typů navzájem. Těmito parametry jsou: struktura, směr, tloušťka/velikost a hustota. Struktura a směr rastru se používá při konstrukci zvýraznění kvalitativních dat, zatímco tloušťka, resp. velikost a hustota při znázornění kvantitativních dat. S tímto rozdělením byl zaveden pojem intenzita rastru. Při vyjádření kvantity jevu se využívá změny tloušťky čar/velikosti bodu s konstantní hustotou, nebo naopak: mění se hustota čar a bodů za jejich stálé velikosti. V každém případě musí být dodrženo analogicky stejné pravidlo jako při využívání barev: čím větší intenzita jevu, tím intenzivnější rastr. Při tvorbě rastrové stupnice pro zvýraznění jevu kvantitativní povahy se jen velice obezřetně pracuje s grafickou proměnnou směr. Její nevhodná změna by mohla ve čtenáři probudit pocit nesrozumitelnosti - mohl by rozdílný směr považovat za změnu kvality jevu. Důležitou informací je podoba rastru prvního a posledního intervalu - nesmí dojít k tomu, aby byla celá

plocha pouze bílá, nebo černá. Bílá se používá k prezentaci ploch, pro které nejsou naměřená data. Černá je vyhrazena pro popis.

V programech ArcGIS a QGIS lze vytvořit rastrovou stupnici manuálně, avšak právě zdlouhavé nastavování parametrů rastru vede k řídkému užívání tohoto vyjadřovacího prostředku. Možnou výhodou použití rastru pro zvýraznění ploch jsou nižší finanční náklady na případný tisk. Avšak hlavním důvodem zavedení rastrových stupnic by byla možnost vytvářet kartogramy složené, tj. zvýrazňovat hodnoty více atributů zároveň.



Obr. 3.5: Parametry (grafické proměnné) rastru [15].

3.3.4 Soubor legendy

Nový důležitým ovládacím prvkem dialogového okna *Kartogram* by mohla být možnost vytvořit tzv. *soubor legendy*. Tento soubor obsahuje číslo barvy a příslušný popis, který lze přiřadit dané klasifikační třídě. Při tvorbě legendy (menu *Výkres - volba Složené prvky - Legenda výkresů*) je možné vyvolat legendu z uložené definice - tou je právě *soubor legendy* (přípona LEG).

3.3.5 Histogram

V obecném měřítku lze říct, že uživatel GIS programu neví, jakému pravděpodobnostnímu rozdělení odpovídají analyzovaná data, a tak výpočet třídních intervalů musí přenechat klasifikační metodě bez přímé kontroly výsledku. Řešením takové situace by byl histogram⁴ zakomponovaný přímo v dialogovém okně *Kartogram*

⁴Sloupcový graf vyjadřující intervalové rozložení čeností.

a v něm zvýrazněné hranice intervalů. Uživatelsky příjemnou technologii obsahuje program ArcGIS, kde jsou hranice tříd v histogramu interaktivní a lze jimi pomocí myši měnit hodnotu hranic (obr. 1.5).

4 Chyby v kartogramech

Tato kapitola se věnuje chybám v kartogramech, které vznikají z nepozornosti nebo, a to především, hlubší neznalostí kartografické tvorby. Každá mapa by měla mít co nejvyšší technickou, odbornou a estetickou kvalitu. Technická stránka je tvořena vyjadřovacími prvky mapy (písmo, kvalita rastru, průběh linií, atd.). Prostředí GIS programů a jejich snadné ovládání napomáhá k tomu, aby estetická stránka měla přednost před odbornou. Tvůrci mapy by však měli dbát i na důležitost odborné stránky, ačkoli o komerční úspěšnosti mapy rozhoduje především část estetická.

Při vytváření mapového díla je nutné dbát na kvalitní a odbornou práci jak při řešení tematického obsahu mapy, tak při utváření vlastní mapové kompozice. Vysoká kvalita zpracování pouze jedné části snižuje celkový efekt. Je nutné vyvážit obě činnosti a mít tak předpoklad pro kladné hodnocení kartografického produktu.

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou kartogramů, a tak bude obsah kapitoly věnován především chybám v tematických mapách, konkrétně v kartogramech.

4.1 Chybný tematický obsah mapy

Sestavování kartogramu spočívá většinou ve třech základních fázích: výběr klasifikační metody, počtu tříd a barevné palety. Chyba v jednom z těchto bodů snižuje kvalitu celého mapového díla a způsobí, že mapa bude pro čtenáře nepřehledná.

Správný výběr klasifikační metody je základním kamenem pro vytvoření kartogramu s velkým potenciálem předat čtenáři informaci. Přerozdělením jednotlivých záznamů do intervalů dochází ke značné generalizaci dat a pokud tento proces bude špatně vykonán, mapa ztratí kvalitu z odborné části a zbude pouze estetický vjem. Je proto vhodné vědět, jakému pravděpodobnostnímu rozdělení soubor s daty odpovídá a následně na základě této vědomosti vybrat klasifikační metodu a počet tříd tak, aby do intervalů byla zařazena data, která jsou si nejvíce podobná. Největším rizikem může být použití algoritmu, který je v GIS programu nastaven na prvním místě. V případě systému ArcGIS je to metoda *Jenks Natural Breaks*, který se dá použít i na obecná data, takže následky nemusí být fatální. Avšak program QGIS

data automaticky přerozděluje pomocí metody *Stejné intervaly - počet tříd* - tento algoritmus není vhodný pro obecná data a mohou vzniknout intervaly, jejichž četnost se bude blížit celkovému počtu prvků, nebo naopak počet prvků v několika intervalech bude nulový.

S volbou klasifikační metody je úzce spojen také výběr správného typu barevné stupnice. Je vhodné rozeznávat stupnice sekvenční (unipolární) a divergentní (bipolární). Sekvenční stupnice využívají jediného směru proměnlivosti intenzity, naopak divergentní typ má ve střední části hranici, kde je intenzita nejslabší a směrem na oba konce se zesiluje, avšak v různých barevných odstínech. Nejpoužívanější stupnicí je achromatická (popř. jednobarevná) sekvenční stupnice. Pokud v datech není nějaká logická hraniční hodnota (0, 100, průměr, atd.), nebo pokud není zájem takovou hodnotu zvýraznit, potom je ideální využít stupnici sekvenční jednobarevnou, či achromatickou. V případě snahy zvýraznit určitou hraniční hodnotu je nejlepším řešením využití stupnice divergentní. Dále je nutné upozornit na fakt, že programy ArcGIS a QGIS až na jediný případ¹ neberou v úvahu vztah „klasifikační metoda - barevná stupnice“ a neumožňují tak zohledňovat hodnotu hraniční hodnoty (např. průměru) vůči datům. Může se tak stát, že v intervalu s nejméně intenzivní barvou střední hodnota nebude (obr. 4.1).

4.2 Porušení mapové kompozice

Jednou z nejčastějších chyb kartografických děl obecně je absence jednoho nebo více povinných prvků mapové kompozice². Základními kompozičními prvky podle [1] jsou:

- Mapové pole - Je nutné co nejlépe využít místo, mapový list nesmí být polo-prázdný a neměl by obsahovat zbytečně volné plochy.

¹Systém ArcGIS, metoda *Standard Deviation*.

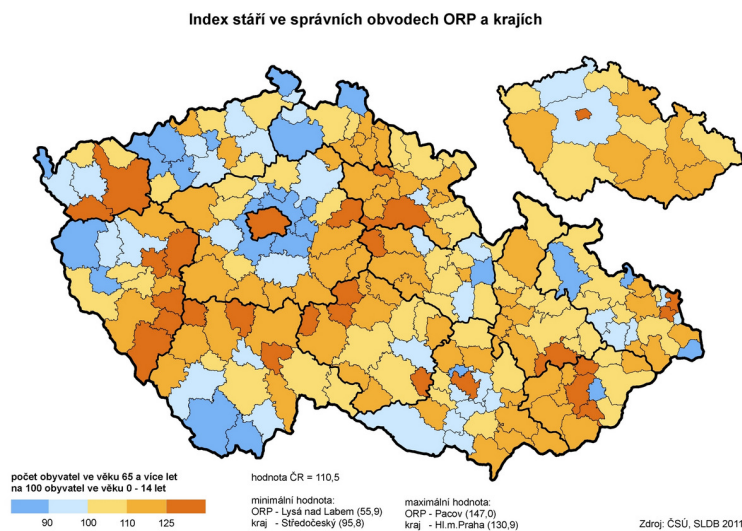
²Výjimku tvoří mapy, které jsou součástí rozsáhlejšího mapového díla.

- Název - Musí obsahovat věcné, prostorové a časové vymezení tématu mapy (Hustota obyvatel v okresech ČR v roce 2012). Jedním ze základních požadavků je, aby název neobsahoval slovo „Mapa“. U jevů, které vlivem času nepodléhají změnám se časové vymezení nemusí uvádět (např. půdní typy).
- Legenda - Pomáhá určit, co jednotlivé znaky v mapě znamenají. Obsahuje všechny důležité znaky mapové kresby. Nenadepisuje se slovem „Legenda“ a je vhodné, aby byl popis v jednotném čísle nebo opisu v j.č. (vodní tok, slané jezero, chatová oblast). V případě kartogramu by měla být vynechána třída, která mezi daty nemá žádné zastoupení.
- Měřítko - Musí se objevit na každé mapě. Je vhodné zobrazit grafické i číselné měřítko, přičemž číselné by mělo být ve standardní podobě (1 : 5000, 1 : 250 000). U tematických map se upřednostňuje měřítko grafické, a to z důvodu, že při kopírování a změně velikosti mapy zůstává měřítko stále platné[15].
- Tiráž - Předává čtenáři informaci o tom, kdo, kdy a kde mapu vytvořil. Tyto tři informace se v tiráži musí vyskytnout. Křestní jméno autora se píše malými písmeny, příjmení velkými (např. Michal NAKLÁDAL). Tiráž může obsahovat použité zdroje, kartografické zobrazení, copyright, atd.

Je možné přidat také několik nepovinných prvků, které mohou zvýšit estetický vjem, přehlednost a informační schopnost mapy. Důležitým mapovým prvkem je směrovka, která se uvádí vždy s výjimkou těchto situací: a) mapa zobrazuje známé území - např. Česká republika, Evropa, atd.; b) dílo obsahuje zeměpisnou síť; c) mapa je součástí mapového souboru). Dalšími nepovinnými prvky jsou: logo, grafy, tabulky, vedlejší mapy, obrázky, reklamy, apod.

Obecně nejvíce chyb se vyskytuje v legendě a měřítku. Při vytvoření legendy uživatel musí dbát na to, aby legenda neobsahovala slovo „legenda“ a aby její součástí nebyly prvky, které se na mapě nevyskytují a naopak. Důležité je také vhodné zakrouhlení číselného popisu. Grafické měřítko by mělo být jednoduché a nemělo by být příliš rozdrobeno, postačí, když bude rozděleno na 2–4 části. Popisek použitých

jednotek by se měl objevit za čísly, a to v českém jazyce a ve zkráceném tvaru (km, m)³.



Obr. 4.1: Chyby v kartogramu. Zdroj: [11]

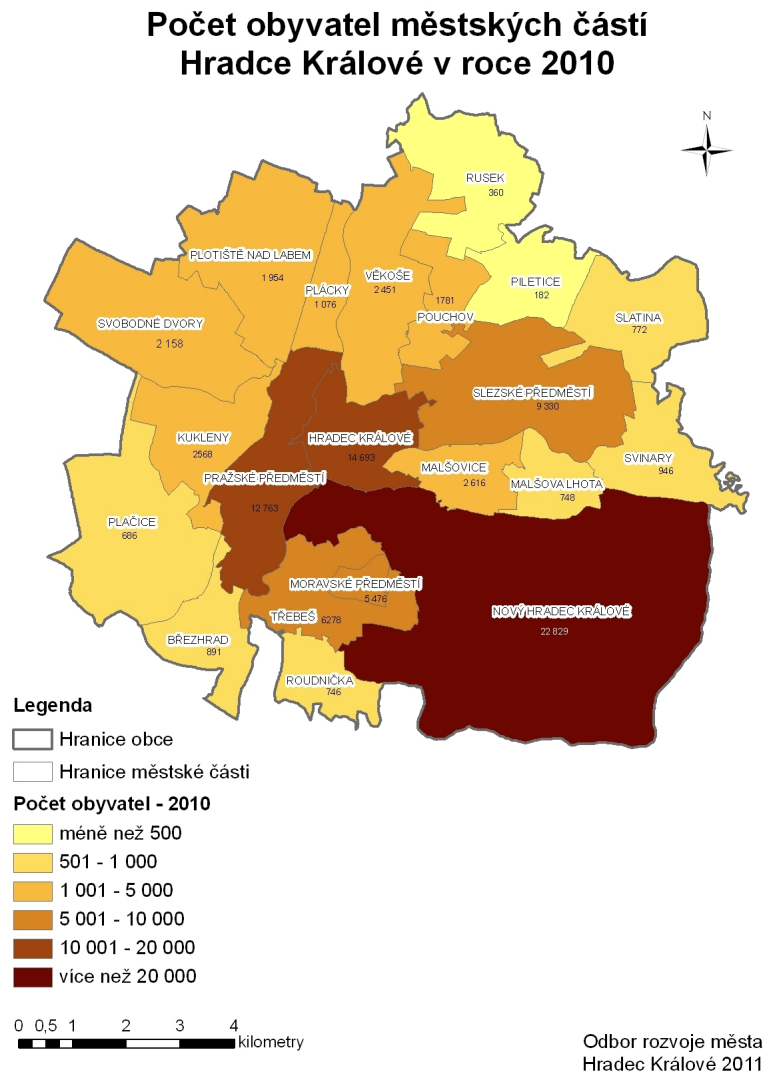
Na obr. 4.1 je vidět nevhodné použití divergentní barevné stupnice - pokud není zvýrazněna nějaká významná hodnota, je lepší užít stupnici jednobarevnou. Navíc zde chybí měřítko a v nadpisu chybí časové vymezení.

Ukázkou mapy s chybami odborného i estetického rázu může být např. obr. 4.2. V kompozici je chybně zpracováno grafické měřítko, které je příliš rozdrobené a popis jednotek je uveden ve dlouhém tvaru a navíc není umístěn za čísly. Legenda obsahuje slovo „legenda“. Hrubou chybou je zvýraznění absolutních hodnot sledovaného jevu.

Další ukáзка chybného kartogramu je na obr. 4.3, kde byl použitý příliš velký počet tříd - barvy dvou sousedních intervalů jsou těžko odlišitelné. Při volbě barevné stupnice navíc došlo k propadnutí barev. Dále chybí měřítko; popisy měst jsou na tmavých plochách nečitelné a název legendy je nevhodně rozmístěn.

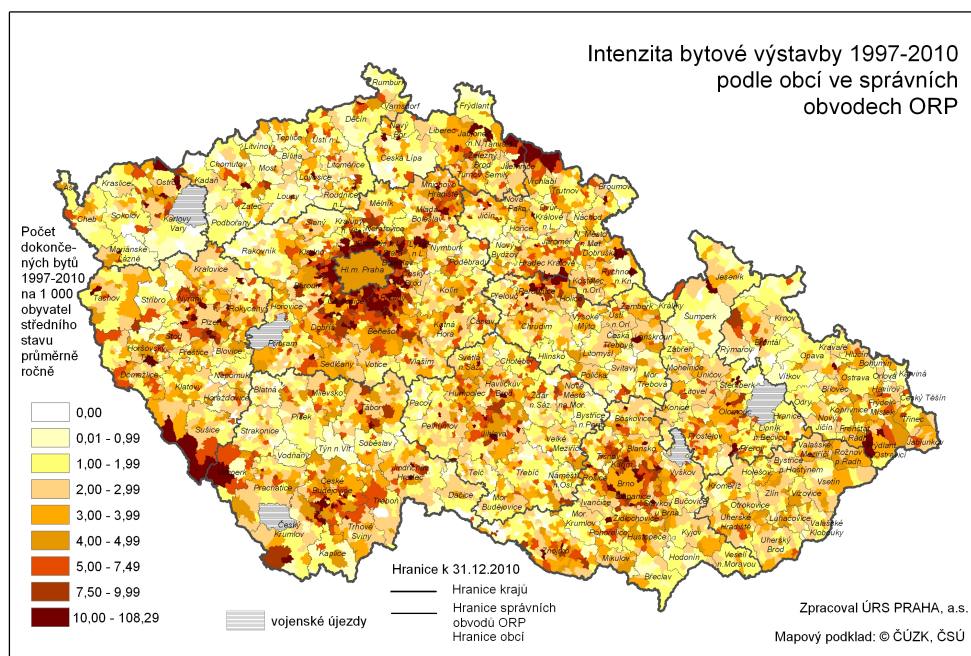
Tvůrce počítačového programu vytvářející kartogramy může některým chybným krokům uživatele zabránit, a tak ovlivnit kvalitu nově vzniklé mapové kompozice.

³Legenda je nejdůležitějším prvkem mapy; při její tvorbě je nutné dodržovat několik zásad. Legenda ke kartogramům nebývá příliš složitá, proto je v textu připomenuto jen několik pravidel.



Obr. 4.2: Chyby v kartogramu. Zdroj: [7].

Pokud to není záměr, pak je nežádoucí, aby se rozsahy jednotlivých tříd překrývaly nebo aby třídy byly setříděné jinak než vzestupně, nebo sestupně (tuto situaci umožňuje QGIS). Další chybou je nesprávná četnost prvků ve třídě - podle [15] by interval neměl obsahovat jen jednu hodnotu.



Obr. 4.3: Chyby v kartogramu. Zdroj: [11]

Závěr

Rozvoj geografických informačních systémů, jejich rozšíření mimo skupinu odborných uživatelů a rozmach moderních technologických prostředků, především co se webového prostředí týče, pomáhají vzniku velkého množství tematických map. V médiích, tedy především ve zpravodajstvích v televizi, v novinách nebo na internetu se můžeme setkat s kartogramy a kartodiagramy prakticky denně. Jejich tvůrci využívají buď vlastní software nebo GIS programy, které ve své bohaté funkcionalitě mají i metody tematické kartografie.

Během psaní této diplomové práce byly využívány dva známé GIS programy, a to ArcGIS od firmy ESRI a nekomerční systém Quantum GIS (dále jen QGIS). Cílem této diplomové práce nebylo tyto programy analyzovat, avšak jejich podrobný rozbor pomohl k utvoření celkového obrazu možností obou těchto systémů a jejich vlivu na nová kartografická díla, která díky nim vznikají.

Diplomová práce *Tvorba a využití kartogramů v systému MISYS* se zabývá současnými možnostmi tvorby tematické mapy v geografickém informačním systému firmy GEPRO spol. s r.o. Software MISYS teoreticky neobsahuje v jeho současné verzi žádný modul, pomocí kterého by uživatel měl možnost vytvářet kartogramy. Ačkoli z praktického hlediska je řešení takovéto úlohy možné. O zmíněné možnosti pojednává kapitola 2.1.2. Jedním z cílů této práce bylo navržení metody, která by řešila tvorbu kartogramů v systému MISYS. Modul *Kartogram* načítá objektovou mapu (např. formát shapefile) a z atributové tabulky vybírá testováním pouze numerické sloupce. Vlastnosti nového kartogramu uživatel určuje v dialogovém okně, které se zobrazí po spuštění modulu *Kartogram*. Ovládacími prvky pro výběr analyzovaného jevu a klasifikační metody jsou data roztříděna do uživatelem stanoveného počtu tříd. Barevné stupnice, jež byly převzaty z volně dostupných palet Color-Brewer, jsou dostupné v dalším rolovacím menu. Barevná schémata lze v rozšířeném dialogu modifikovat dle přání uživatele. Kliknutím na jedno ze dvou aktivačních tlačítek se vytvoří nejpoužívanější typ kartogramu, tj. jednoduchý homogenní. Tomu je přizpůsoben také výběr z pěti možných klasifikačních metod a třinácti sekvenčních barevných stupnic.

V průběhu diplomové práce je poukázáno na úskalí, se kterými se potýká jak uživatel při tvorbě kartogramu, tak potom čtenář při jeho čtení. Jedná se především o komplikované sestavení jiného typu kartogramu než jednoduchého homogenního, k jehož vzniku vede snadná obsluha GIS programů. Tvůrce kartogramu, především ten z řad kartograficky nezkušených a neškolených uživatelů, nejčastěji sahá po tomto typu z důvodu neznalosti možností klasifikačních metod, které GIS nabízejí, a také z komplikovaného sestavení jiného typu kartogramu, např. kartogramu složeného, který umožňuje znázornění až tří atributů. Další problematickou stránkou, kterou musí uživatel geografických informačních systémů při tvorbě kartogramů řešit, je správné užívání klasifikační metody využívající průměru a násobků směrodatné odchylky statistického souboru. Jejím výběr může vést k vytvoření kartogramu jednoduchého kvalifikačního, který je vhodné propojit se správným typem barevné stupnice (divergentní neboli bipolární).

Nedílnou součástí tvorby kartogramu je barevné nebo rastrové zvýraznění dílčích územních celků. Palety barev nebo rastrů je ovšem nutné vybírat obezřetně. Nejčastěji se využívají stupnice barevné a při jejich výběru je vhodné vybrat takové, které odpovídají zavedeným konvencím, pokud existují (např. mapa teplot - teplé barvy pro vyšší teploty a studené barvy pro nízké; lesnická mapa stáří porostů), nebo takové, které svým psychologickým vjemem co nejvíce odpovídají sledovanému jevu.

Kartogramy jsou jednou z nejčastějších metod tematické kartografie, ačkoli počet a zvláště variabilita programů, které je vytváří, je poměrně nízká. Cílem této diplomové práce je proto také snaha rozšířit hlubší vědomosti o tvorbě kartogramů a zavést jejich tvorbu do českého významného geografického informačního systému MISYS.

Použité zdroje

- [1] Bohuslav Veverka, Růžena Zimová. *Topografická a tematická kartografie*. ČVUT, 2008.
- [2] Cynthia Brewer, Mark Harrower. Color advice for cartography. [online], červenec 2006. URL <http://colorbrewer2.com/>.
- [3] Robert Gentleman, Ross Ikhana. R project. [online], 1977 - 2014. URL <http://www.r-project.cz>.
- [4] Jaromír Kaňok. *Tematická kartografie*. Ostravská univerzita v Ostravě, 1999.
- [5] Vít Vožnílek, Jaromír Kaňok. Barvy v mapách. *GeoBusiness*, 2008.
- [6] Libuše Svatošová. *Pří ze statistiky*. ČZU v Praze, 2009.
- [7] Odbor rozvoje města Hradec Králové. Magistrát Hradce Králové. [online], 2011. URL <http://www.hradeckralove.org/urad/demografie>.
- [8] Jan Šochman. Cvičení z RPZ - shlukování k-means. [online], prosinec 2005. URL <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/recognition/Labs/kmeans/kmeans.pdf>.
- [9] Jan Souček. Hon na čtyři barvy. *ArcRevue*, 2012.
- [10] GEPRO spol. s r.o. MISYS-VIEW. [online], 2013. URL <http://www.gepro.cz/produkty/misys/>.
- [11] Český statistický úřad. Verijná databáze. [online], 2014. URL <http://vdb.czso.cz/vdbvo/uvod.jsp>.
- [12] QGIS Development Team. Qgis api documentation. [online], 2014. URL <http://qgis.org/api/2.0/index.html>.
- [13] Tomáš Bayer. *Algoritmy v digitální kartografii*. Univerzita Karlova v Praze, 2008.

- [14] Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický. Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí. [online], listopad 2005 - 2013. URL <http://www.vugtk.cz/slovník/>.
- [15] Vít Vožnílek. *Metody tematické kartografie*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2011.
- [16] Tomáš Vojtěchovský. Makro pro tvorbu kartogramu. [online], prosinec 2012. URL <http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/yngs/projekt/basic/2012/vojtechovsky.zip>.

Seznam obrázků

1.1	Kartogram jednoduchý kvalifikační. Vytvořeno v program ArcGIS. . .	13
1.2	Kartogram složený, doplněný třetím sledovaným jevem, který je zvýrazněn barvou. Vytvořeno v program ArcGIS.	14
1.3	Kartogram prostorový. Vytvořeno v program ArcScene.	15
1.4	Vytvoření skokové stupnice v programu ArcGIS. V legendě je patrná meze mezi 30 000 a 40 000 - žádný záznam nemá hodnotu v tomto intervalu.	16
1.5	Volba klasifikační metody v programu ArcGIS	18
1.6	Volba klasifikační metody v programu QGIS	19
1.7	Ruční změna hranic intervalů v programu QGIS.	24
1.8	Ukázka klasifikační metody <i>Standard Deviation</i> v programu ArcGIS. .	26
1.9	Ukázka klasifikační metody <i>Standard Deviation</i> v programu QGIS . .	27
1.10	Barevné palety ColorBrewer ve prostředí programu Excel.	35
1.11	Barevné palety ColorBrewer ve webovém prostředí.	36
2.1	Výplň plochy v systému MISYS	38
2.2	Výplň ploch dle atributů v systému MISYS	39
2.3	Kartogram vytvořený v systému MISYS.	40
3.1	První verze modulu <i>Kartogram</i> , která vznikla v rámci předmětu Nastavby GIS v roce 2012.	42
3.2	Modul <i>Kartogram</i>	44
3.3	Modul <i>Kartogram</i> s rozšířením	45
3.4	Ukázka kvalifikačního kartogramu s využitím kvalifikační metody <i>Kvanil (stejná četnost)</i>	48
3.5	Parametry (grafické proměnné) rastru [15].	50
4.1	Chyby v kartogramu. Zdroj: [11]	55
4.2	Chyby v kartogramu. Zdroj: [7].	56
4.3	Chyby v kartogramu. Zdroj: [11]	57

Seznam tabulek

1.1	Obecné rozdělení klasifikací [4].	15
1.2	Porovnání typu klasifikací v GIS programech	20
1.3	Kvantily tvořící $k = 9$ tříd vytvořené pro soubor s $N = 14$ záznamy. Hodnoty 14 v posledním sloupci jsou přidány jen pro úplnost, nejedná se o kvantily.	22
1.4	Kvantily vypočítané dvěma GIS programy, statistickým software R a algoritmem uváděným v [13].	23
1.5	Ukázka barev užívaných pro kvantitativní rozdělení stáří porostu. Barvy jsou však přiřazeny kvalitativně.	29
1.6	Psychologické působení barev podle [5]	32
1.7	Rozložení barev ve schématech ColorBrewer. Barevné schéma, jehož barvy se použijí pro obarvení ploch, je složeno z barev, u kterých je pro zadaný počet tříd tečka.	33