

Kartografická vizualizácia rozmiestnenia obyvateľstva

Slovenska

Dagmar Kusendová, Univerzita Komenského, Bratislava

Abstract

The article presents the unconventional cartographical methods for solving a conventional theme to demonstrate the contemporary potential of geoinformation technologies and cartographical visualization techniques used for the analysis and presentation of the distribution of population in Slovakia.

The first part is oriented on the application of anamorphous maps (the non-contiguous area cartograms) and their processing over the commercial desktop GIS program ArcView. The second part deals with the options provided by the standard GIS techniques (Thiessen's polygons) in the allocation of boundaries of district towns and settlements in Slovakia for the purposes of the residential density modeling and visualization.

Key words: cartographic visualization, GIS, anamorphous demovalent map, non-contiguous cartogram, Thiessen's polygons/Voronoi's diagrams

Úvod

Geoinformačné technológie veľmi rýchlo implementovali do svojich nástrojov vybrané kartografické metódy a techniky s väčšou alebo menšou mierou zachovania pravidiel, funkcií a konvencií mapového jazyka (Kusendová 1997, Pravda 1983, Pravda 2004). Počítačové spracovanie, analýza a kartografická vizualizácia geografických dát s demografickým obsahom boli jednou z prvých oblastí na ktoré sa zameriavali aplikácie geografických informačných systémov (GIS) prezentované programami *desktop GIS*. Ich použitie spravidla ústi do tvorby tradičných kartografických modelov – kartodiagramových a kartogramových máp.

Zriedkavejšie je použitie vizualizačných nástrojov vo funkcii prostriedkov vedeckého výskumu v prostredí počítačových kartografických expertných systémov nad bázou vhodne štruktúrovaných geografických dát (Kusendová 2003). Ide o metódy a prostriedky kartografickej/vedeckej geovizualizácie, t. j. oblasti použitia vizuálnych zobrazení v podobe elektronických máp, hypermáp a ďalších geopriestorových modelov na monitore počítača s cieľom efektívne skúmať, analyzovať, syntetizovať a prezentovať informácie s lokalizáciu v príslušnom geografickom referenčnom systéme (Kraak 2001).

Kartografická vizualizácia predstavuje progresívny smer vývoja geoinformačných techník a nástrojov, ktoré účinne pomáhajú geografickému výskumu pri spracovaní, analýze a prezentácii geografických dát. Geoinformačné technológie rozširujú spektrum kartografických vizualizácií s osobitným dôrazom na možnosti prieskumných analýz rozsiahlych geografických databáz. Napriek prieniku multimediálnych techník do geoinformačných technológií ostáva aj dnes dvojrozmerná mapa, či už na obrazovke monitora alebo vytlačená na papieri, najviac používanou prezentáciou výsledkov analýz geografickej databázy v programoch GIS a považuje sa za najpohotovejšiu a najefektívnejšiu prostriedok na prenos geoinformácie (Kusendová 2003).

Cieľom príspevku je prezentovať netradičné (kartografické) prístupy riešenia tradičnej tematiky s poukázaním na súčasné možnosti geoinformačných technológií a kartografickej vizualizácie v kontexte analýzy a vizualizácie distribúcie obyvateľstva Slovenska.

Prvá časť sa venuje aplikácii anamorfnej metódy demovalentných máp a jej

implementácii v komerčnom programe desktop GIS – ArcView.

Druhá časť je zameraná na použitie štandardnej techniky GIS (Thiessenových polygónov) pri ohraničovaní zázemí okresných miest a obcí na území Slovenska pre potreby modelovania a vizualizácie distribúcie obyvateľstva Slovenska.

Anamorfná metóda - demovalentná anamorfóza

Na základe analýzy používaných mapových syntaktických typov v atlasoch, zobrazujúcich dáta zo sčítania obyvateľstva (Kusendová 2002), sú z areálových kartografických metód najčastejšie využívané kvantitatívne metódy kartodiagramu a kartogramu spolu s kvalitatívnymi metódami uzavretých a prekrývajúci sa areálov. Z figurálnych metód sa najviac používa kvantitatívna metóda lokalizovaných diagramov a hustotná bodová metóda (vážených bodov), rôzne kvalitatívne figurálne (zväčša jednoduché) znaky a z čiarových najmä metóda smerov pohybu a izočiarová metóda, resp. izogradačná. Pri aplikácii všetkých uvedených metód sa dá využiť väčšina u nás používaných programov desktop GIS (ArcView, MapInfo apod.).

Osobitné postavenie v tvorbe demografických máp má anamorfná metóda, ktorej vznik bezprostredne súvisí s kartografickou prezentáciou demografických dát (demovalentné mapy).

Stručný lexikón kartografie (Pravda 2003, s. 8) definuje *anamorfnú mapu* (a.m.) ako „mapu skonštruovanú podľa odlišných princípov ako klasická mapa. Základné topologické atribúty mapy (dĺžky, plošné útvary, uhly ap.) sú účelne skreslené na základe zvoleného matematického pravidla (voľná deformácia by bola schematizáciou). Typickým znakom a.m. je jej priestorová podobnosť. Plošné jednotky a.m. bývajú najčastejšie úmerné rôznym ukazovateľom, napr. početnosti obyvateľstva (demovalentná anamorfóza), množstvám výrobkov ap.“

J. Murdych klasifikuje anamorfózy (Kusendová 1996) na pravé a nepravé anamorfózy, pričom pravé transformujú geometricky celú plochu s využitím súradnicovej siete radiálne (centricky, azimutálne) alebo neradiálne (osovo) na rozdiel od nepravých, ktoré transformujú (skresľujú) len vybrané časti zobrazovaného priestoru, a to plošne-ekvidemicky úmerne inej veličine .

Anamorfné mapy sa z topologického hľadiska (susednosti územných jednotiek) delia na kontinuálne a nekontinuálne. Kontinuálne anamorfózy sú konštruované tak, aby bola zachovaná spojitosť sledovaného priestoru, t. j. susednosť a orientácia hraníc územných jednotiek aj za cenu ich veľkých zmien veľkosti a deformácií tvaru. Nekontinuálne anamorfózy sa konštruujú menej zložito, veľkosť každej jednotky sa zväčšuje, resp.

zmenšuje rovnomerne obvykle centricky z jej centrálného bodu podľa zobrazovaného ukazovateľa (napr. počtu obyvateľov).

Nepravé plošné anamorfózy územných jednotiek vo forme jednoduchých geometrických tvarov (štvorec, obdĺžnik apod.) sú najčastejšie používané *topologické modely* vďaka svojej jednoduchosti, názornosti a možnosti algoritmickej, vizualizačnej a interaktívnej tvorby v počítačovom prostredí.

Na rozdiel od tradičnej kartogramovej metódy, kde sa veľkosť územných jednotiek (napr. okresov) nemení, tak v anamorfnej demovalentnej metóde sa ich veľkosť závisle mení podľa vzťahu:

$$A_i = k_m / P_i$$

kde A_i je plocha/výmera i -tej štatistickej jednotky, P_i je počet obyvateľov i -tej štatistickej jednotky a k_m je mierkový koeficient zvyčajne určený empiricky.

V kontexte tvorby Atlasu obyvateľstva Slovenska (Kusendová 2004) sme sa zamerali na aplikáciu anamorfnej demovalentnej metódy v prostredí programu ArcView. Ide o programovú nadstavbu (ArcView Extension - script), ktorá bola vytvorená na základe algoritmu J. M. Olson (1976) na tvorbu *noncontiguous area cartograms*, t. j. nepravých plošne-ekvidemických nesúvislých demovalentných máp. Autorom programu je J. A. Lane z Illick Laboratory for Spatial Analysis na Middlebury College (jeff.lane@middlebury.edu).

Vstupnými dátami na konštrukciu anamorfnej mapy v prostredí programu ArcView boli hodnoty počtu obyvateľov a digitálnej plochy štatistických jednotiek (okresov). Spomedzi nich sa vybrala územná jednotka s najväčšou hodnotou hustoty obyvateľstva do funkcie „kotviaceho“ bodu“ pre výpočet mierkového čísla (k),

$$k = \frac{1}{d}, d = \sqrt{\frac{P_k}{A_k}},$$

kde d je druhá odmocnina hustoty obyvateľstva kotviaceho bodu, pričom P_k je počet obyvateľov a A_k veľkosť plochy. Mierkovým číslom sa vynásobia hustoty obyvateľstva/ludnosť ostatných jednotiek a vypočíta sa lineárny váhový mierkový koeficient (L) pre každú jednotku podľa vzťahu:

$$L = k \cdot \sqrt{\frac{P_i}{A_i}}$$

kde P_i je počet obyvateľov a A_i je veľkosť plochy i -tej jednotky. Na základe mierkového koeficientu sa deformuje, resp. upravuje tvar a veľkosť anamorfných areálov ostatných územných jednotiek. Ak sa zvolí napr. za kotviacu jednotku územná jednotka s najvyššou ľudnosťou, tak hodnota mierkového koeficientu (L) nadobúda hodnotu 1 a jej anamorfná forma/veľkosť plochy je totožná s pôvodnou na rozdiel od ostatných, ktoré sa proporcionálne zmenšia.

Výpočtový algoritmus digitálnej tvorby „demovalentného areálu“ A v programe ArcView je založený na súčine hodnôt mierkového koeficientu (L) a vzdialenosti medzi centroidom areálu a jeho hraničnými bodmi:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (L(X_i - CX) + CX) \cdot (L(Y_{i+1} - CY) + CY) - (L(X_{i+1} - CX) + CX) \cdot (L(Y_i - CY) + CY) = \frac{1}{2} \cdot L^2 \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_{i+1} - X_{i+1} \cdot Y_i$$

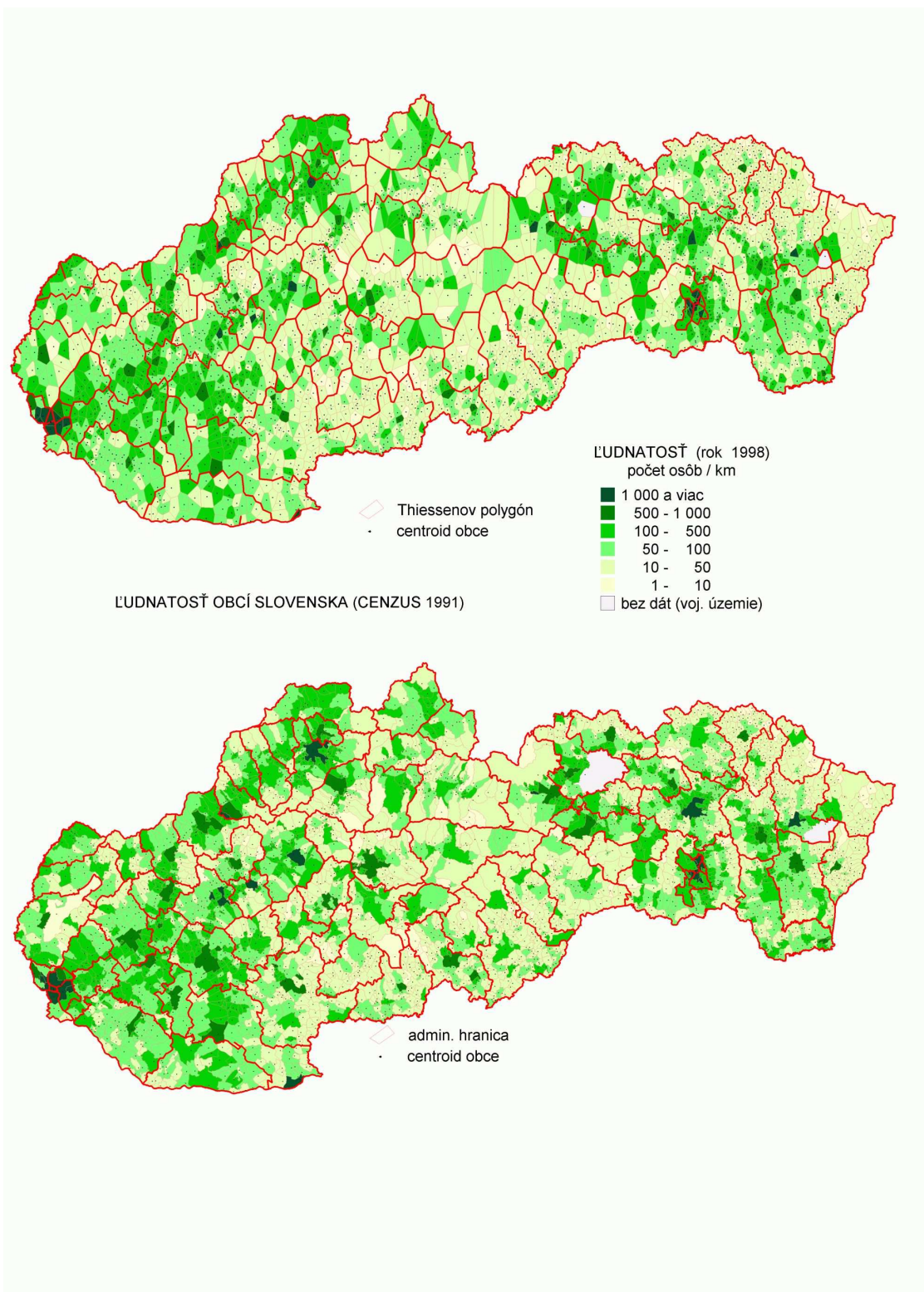
kde n je počet hraničných bodov, X_i a Y_i sú ich súradnice CX a CY sú súradnice centroidu i -teho areálu.

Algoritmus umožňuje interaktívny výber dátového poľa (počtu obyvateľov), na základe ktorého sa má vytvoriť mapová vrstva anamorfných areálov. Taktiež sa dá interaktívne stanoviť hodnota mierkového koeficientu pre jednotku s najväčšou hustotou, ktorý môže nadobúdať aj iné hodnoty než 1 v závislosti od charakteru pôvodných a výsledných tvarov, resp. veľkostí jednotlivých areálov.

Anamorfné metódy umožňujú zobrazenie nielen typických rozlohových charakteristík, akým je napr. ľudnosť (t. j. počet jednotiek na jednotku rozlohy), ale aj iných nerozlohových demografických charakteristík (napr. podiel mužov na celkovom počte obyvateľov) v súlade s kartografickým pravidlom, že veľkosť plochy by mala byť mierkovaná veľkosťou zobrazovaného javu na rozdiel od kartogramovej metódy, v ktorej veľkosť plochy ostáva nemenná a odpovedá svojmu fyzickému/fyzickogeografickému modelu. To často spôsobuje vnemové problémy a nezrovnalosti medzi veľkosťou fyzickej plochy a odtieňom, resp. vzorkou výplne najmä pri extrémne malých, resp. veľkých plochách (obr. 1 a 3b).







Výsledky a hodnotenie kartografickej anamorfnej metódy

Konečným výsledkom programovej aplikácie v programe ArcView je nový súbor anamorfných areálov vo formáte *shape*, ktoré sa dajú použiť na intenzitné zobrazenie ďalších súvisiacich ukazovateľov na základe farebnej alebo vzorkovej gradácie výplne areálov. Aplikácia poskytuje aj nástroje na dodatočnú úpravu polohy jednotlivých areálov.

Nevýhodou anamorfnej metódy je, že potiera princíp spojitosti geografického priestoru a narušuje kompaktnosť celej sledovanej plochy. Anamorfné mapy pri nezachovaní princípu podobnosti a usporiadania areálov (tvarov hraníc) sú ťažko čitateľné pre percipienta mapy, ktorý je zvyklý na fyzickogeografické hranice zobrazené v bežne používaných kartografických zobrazeniach zo všeobecnozemeepisných, resp. topografických máp. Táto nevýhoda sa dá eliminovať zobrazením fyzických hraníc spolu s anamorfnými areálmi, ako je to znázornené na obr. 1, kde spolu s fyzickými hranicami okresov Slovenska sú vizualizované ich anamorfné areály zobrazujúce štatistické dáta zo sčítania obyvateľstva v roku 2001. Ide o ukážku anamorfných areálov okresných územných jednotiek Slovenska, ktoré vizualizujú veľkosť populácie a maskulinitu (podiel mužov) na celkovom počte trvalo bývajúcich okresu podľa dát zo sčítania roku 2001. Kotviacim bodom bola sumárna hodnota hustoty obyvateľstva všetkých okresov Bratislavy vzhľadom na ich malú výmeru, ako aj ich špecifické postavenie v demografickej štatistike. Optimálna vizualizácia anamorfných areálov s farebne gradovaných hodnotami podielu mužov bola pri hodnote mierkového koeficientu $L=1,5$. Pre $L=1$ bola pri aplikácii sivej gradačne škály zlá čitateľnosť malých plôch.

Problém optimálnej veľkosti areálov pre kartografické vizualizácie pri množstve extrémne veľkých alebo malých areáloch sa dá riešiť pomocou konštrukcie Thiessenových polygónov. Táto dištančná modelačná technika je v súčasnosti bežná súčasť programov desktop GIS.

Thiessenové polygóny a ich použitie

Thiessenové polygóny, nazývané podľa svojich pôvodcov aj *Dirichletové polygóny*, resp. *Voroniové diagramy* (Sárközy 1998), prezentujú geoinformačnú interpolačnú a alokačnú metódu priradujúcu plochu k vstupným bodom na základe ich vzdialenostných a smerových atribútov, ktorá sa dá aplikovať v rastrových i vektorových dátových štruktúrach. Ide o geometrickú metódu, ktorá rozdelením vstupného bodového poľa na n -uholníky (polygóny) ohraničí zázemie (spádovú oblasť) každého bodu v závislosti od smeru a vzdialenosti k najbližším bodom svojho okolia, t. j. definujú "individuálne" plochy vplyvu okolo každého vstupného bodu.

Geometrické pravidlá tvorby Thiessenových polygónov sú jednoduché: každý polygón môže obsahovať len jeden bod a všetky ostatné body, ktoré neležia v ňom, ale sú k nemu najbližšie, ležia v polygónoch tvoriace jeho hranice. Postup ich tvorby pozostáva z troch základných krokov. Nájdu sa všetky body, ktoré sú najbližšie k sledovanému bodu. Každý nájdený bod sa s ním spojí priamkou, čím sa vytvorí nepravidelná trojuholníková sieť (označovaná aj ako triangulačná sieť Delona). Na priamkach sa určia deliace body, ktoré sa spoja do konvexného polygónu, ktorý ohraničí „zázemie“ sledovaného bodu. Tak sa postupne rozdelí celý priestor do Thiessenových polygónov.

Táto geometrická metóda, založená na vzdialenostných charakteristikách diskrétny bodov, našla svoje uplatnenie v rôznych oblastiach počínajúc kryštalografiou a končiac geovizualizačnými postupmi. V geografii použil tieto geometrické pravidlá Thiessen na vyhraničenie homogénnych klimatických regiónov na základe hydrometeorologických hodnôt získaných z bodovo lokalizovaných meteorologických staníc.

V komerčných programoch GIS je operácia konštrukcie Thiessenových polygónov štandardnou súčasťou interpolačných, resp. extrapoláčnych algoritmov (napr. Delonova triangulácia, metóda najbližšieho suseda, tvorba nepravidelných trojuholníkových sietí). Používa sa aj v procese prvotného spracovania priestorových dát (tvorba pravidelných bodových polí hodnôt z nepravidelných, zjednotenie rôznych polôh vstupných dát, sietí apod.). Metóda má samozrejme svoje obmedzenia, napr. rozdelenie priestoru na polygóny plne závisí od polohy vstupných bodov a nie od podstaty javu samotného.

V humánno-geografickej a demogeografickej praxi sa Thiessenove polygóny využívajú na ohraničenie zázemí miest, spádových oblastí poľnohospodárskych, priemyselných, obchodných, rekreačných a ďalších centier. V spojení s lokačno-alokačnými postupmi vytvárajú vhodnú bázu na identifikáciu pravdepodobných oblastí vplyvu, resp. potenciálu pre rôzne aktivity človeka a modelovanie sociálno-ekonomických interakcií v geografickom priestore.

Metódu Thiessenových polygónov sme použili v prostredí programu MapInfo pri ohraničovaní zázemí obcí a okresných miest na území Slovenska. Vytvorené polygóny sme použili vo funkcii etalónových okresných území, ktoré boli ďalej analyzované a porovnávané so skutočnými hranicami prostredníctvom indexu priestorovej efektívnosti (Goodall 1987, s. 227), t. j. veľkosti odchýlky skutočnej výmery územia okresu od ideálnej hodnoty (obr. 2). Všetky okresy, ktoré dosiahli hodnotu indexu blízko hodnoty 1 majú fyzickú výmeru takmer totožnú s výmerou etalónového geometrického tvaru areálu. Cieľom týchto komparácií bolo získať informáciu o priestorovej diferenciacii areálov a identifikovať „zázemia“ okresov, resp. obcí pre ďalšie analýzy.

Ďalšia aplikácia Thiessenových polygónov, v kontexte tvorby Atlasu obyvateľstva Slovenska, bola zameraná na vizualizáciu ľudnatosti v etalónových plochách obcí Slovenska (obr. 3a). Pri porovnaní fyzicko-geografických hraníc obcí (obr. 3b) a etalónových Thiessenových polygónov by sa dali rozpoznať znateľné rozdiely v percepcii hodnôt ľudnatosti najmä v extrémne veľkých areáloch obcí (napr. Vysoké Tatry, Záhorie apod.).

Záver

Anamorfné mapy sú všeobecne dobre percipované nielen kartograficky vzdelaným čitateľom mapy, ale aj laikom. Kartografické anamorfné metódy, v minulosti málo používané kvôli ich konštrukčnej prácnosti, resp. výpočtovej zložitosti, sa dajú realizovať v súčasnosti pomocou geoinformačných technológií. Desktop GIS aplikácie – ich analyticko-modelačné nástroje, resp. programové nadstavby sú vhodným nástrojom na tvorbu rôznych anamorfných vizualizácií. Jednou z nich je použitá nadstavba programu ArcView na tvorbu demovalentných máp (*noncontiguous area cartograms*) na báze algoritmu J. M. Olson. Pomocou anamorfózných modelov sa dajú efektívne prezentovať najmä dáta a výsledky humánno-geografického výskumu, ktoré sa viažu na štandardné územno-štatistické jednotky pri zachovaní a rešpektovaní tradičných kartografických pravidiel – zachovanie topológie a tvaru jednotiek.

Z množiny štandardných analytických geoinformačných nástrojov, založených na analýze vzdialenostných charakteristík (demo)geografických dát, sa dajú v kartografickej vizualizácii uplatniť Thiessenové polygóny, ktorých konštrukcia sa dobre realizuje pomocou väčšiny komerčných programov desktop GIS. Okrem tradičnej lokačno-alokačnej funkcie sa dajú použiť vo funkcii etalónov územných jednotiek, kde tvoria vhodný rámec pre aplikáciu

kartografických metód využívajúce geometriu plošných areálov. Pri množstve extrémne veľkých alebo malých areálov riešia Thiessenové polygóny problém ich optimálnej veľkosti pre kartografické vizualizácie.

Literatúra

- Goodall, B. (1987). The Penguin Dictionary of Human Geography. London, (Penguin Books).
- Kraak M. J. (2001). Cartographic Visualisation. International Encyclopedia of the social and behavioral sciences., Vol. 3, s. 1488-1495 (Oxford, Pergamon) <http://www.iesbs.com>.
- Kusendová, D. (1996). Netradičné formy kartografických modelov a ich použitie v geografii. Kartografické listy, 4, s. 89-100 (Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav Slovenskej akadémie vied – SAV).
- Kusendová, D. (1997). Hodnotenie kartografických nástrojov vo vybraných produktoch GIS. Geodetický a kartografický obzor, roč. 43/85, č. 8-9, s. 170–176.
- Kusendová, D. (2002). Kartografická prezentácia demogeografických dát. In: Aktivity v kartografii. Bratislava, s. 79-87 (Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav SAV).
- Kusendová, D. (2003). Vedecká vizualizácia geoúdajov. Geodetický a kartografický obzor, roč.49/91, č. 7-8, s. 121-124.
- Kusendová D. (2004). Projekt Atlasu obyvateľstva Slovenska. In: Aktivity v kartografii. Bratislava, s. 73-77 (Kartografická spoločnosť a Geografický ústav SAV).
- Olson J. (1976). Noncontiguous Area Cartograms. The Professional Geographer, vol. 28, 4, 371-380.
- Pravda J. (1983). Zákon kartogramu a problém vyjadrovania nerozlohových charakteristík. Geografický časopis, roč. 35, č. 2, Bratislava (Slovenská akadémia vied).
- Pravda J. (2003). Stručný lexikón kartografie. Bratislava (Slovenská akadémia vied).
- Pravda, J. (2004). O chybách na mapách. Kartografické listy, č. 12, s. 92-103 (Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav SAV).
- Sárkózy, F. (1998). GIS Functions – Interpolation. Budapest (Technical University), http://www.agt.bme.hu/public_e/funcint/funcint.html.

Summary

Cartographical visualization of the distribution of population in Slovakia

The analytical and modelling tools of the GIS desktop programs are applicable for the design of various types of cartographic anamorphous models for the visualisation purposes. One of the program extensions of the ArcView program designed by J. A. Lane was used for the creation of demovalent maps – the *noncontiguous area cartograms* – adopting the J.M. Olson's algorithm. It enables the effective presentation of the data and results of human-geographical research subjected on the standard statistical area units preserving and respecting traditional cartographic procedures (i.e. topology and the shape of the units – Fig. 1).

The problem of the optimal unit size for the cartographic visualisation (with great number of extremely large or small areas – Fig. 3b) can be solved by the construction of Thiessen's polygons. This is a standard analytical geoinformatic method, which is based on the analysis of space patterns of geographical data. Apart from the traditional application, Thiessen's polygons may be used as etalons of area units (Fig. 2) creating a conventional background for the application of cartographic methods and for visualisations based on geometry of areas (Fig. 3a).

Fig. 1 The anamorphous district areas in Slovakia, which represent the population and masculinity (the men's ratio) from the census 2001 data.

Fig. 2 Thiessen's polygons of the Slovak district centres and indexes of their spatial efficiency.

Fig. 3a Cartographic visualisation of population density in Slovakia settlements from 1991 census using the Thiessen's polygons.

Fig. 3b Cartographic visualisation of population density in Slovakia settlements from 1991 census using cadastral boundaries.

Doc. RNDr. Dagmar Kusendová, CSc.

Univerzita Komenského Prírodovedecká fakulta,
Mlynská dolina 1, 842 15 Bratislava, Slovenská republika,

Ostravská univerzita – Přírodovědecká fakulta

Sborník referátů a sdělení z Mezinárodní geografické konference

Geografie a proměny poznání geografické reality

konané v Ostravě ve dnech 30. a 31. srpna 2004

Editor:	prof. RNDr. Arnošt Wahla, CSc.
Vydavatel:	Ostravská univerzita
Náklad:	120 ks
Rozsah:	s. 391 - 657 stran
Vydání:	první 2004
Tisk:	Ostravská univerzita, Ediční středisko
Doporučená cena:	310.-Kč vč. DPH za oba svazky

Texty příspěvků neprošly jazykovou úpravou

ISBN 80 – 7042 – 788 - 4