

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



**VYUŽITÍ GIS PRO 3D MODELOVÁNÍ
CENOVÝCH POVRCHŮ**

3D MODELING OF COST-SURFACES USING GIS

Bakalářská práce

Kateřina Zachová

Srpen 2009

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. T. Hudeček, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Havlíčkově Brodě dne 24.srpna 2009

.....

Kateřina Zachová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce RNDr. Tomáši Hudečkovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále bych pak chtěla poděkovat RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za poskytnutí užitečných informací. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu během celého studia.

Využití GIS pro 3D modelování cenových povrchů

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je použít metodiku 3D modelování v prostředí ArcGIS 9.3 na vytvoření tzv. cenových povrchů neboli Cost-surfaces. Modely ve třetím rozměru jsou vytvořeny na základě průměrných kupních cen nemovitostí ve vybraných krajích České republiky. Pro práci byly vybrány průměrné jednotkové ceny za stavební pozemky, rodinné domy, byty a garáže. Dále v prostředí ArcMap jsou tyto ceny interpolovány zvolenou interpolační metodou a jsou vytvořeny 3D modely za vybrané druhy nemovitostí a za vybrané kraje. Následně je v aplikaci ArcScene provedena vizualizace vytvořených modelů. Závěr pojednává o využitelnosti ArcGIS 9.3 při tvorbě cenových povrchů a je provedeno zhodnocení vizualizovaných modelů.

Klíčová slova: 3D modelování, cenový povrch, interpolace, vizualizace

3D modeling of cost-surfaces by using GIS

Abstract

The objective of this bachelor's thesis is to apply 3D modeling in ArcGIS 9.3 for cost-surface. Models in the third dimensions will be create on the basis of average purchase prices of real properties in the selected regions of Czech republic. For this task the average units prices of building lands, family houses, flats and garages were selected. These prices are further interpolated by a selected interpolation method in ArcMap and than digital models of selected types of real properties and regions are created. As a next the visualization of the created models is accomplish in the application ArcScene. The conclusion is about serviceability ArcGIS 9.3 in creating cost-surfaces and an evaluation of visualization models is made.

Keywords: 3D modeling, cost-surface, interpolation, visualization

OBSAH

Seznam obrázků	6
1 ÚVOD.....	7
1.1 Cíle práce	7
1.2 Struktura práce.....	8
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1 Cost-surface.....	9
2.2 Ceny nemovitostí.....	9
2.2 3D modelování.....	11
2.2.1 TIN (triangulated irregular network).....	13
2.2.2 Interpolace	14
2.2.3 Srovnání TIN a rastrových modelů.....	20
2.2.4 Možnosti vizualizace povrchů	20
3 PRAKTICKÁ ČÁST	22
3.1 Použitá data	22
3.2 Použité softwary	23
3.3 Práce v 2D prostředí.....	23
3.3.1 Příprava dat.....	23
3.3.2 Práce v ArcMap	24
3.4 Vizualizace modelů	25
3.5 Diskuse vytvořených 3D modelů	28
4 ZÁVĚR	33
Seznam použitých zdrojů	34
Přílohy.....	36

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1 Podoblasti s jednotlivými hodnotami	11
Obr.2 Vynesené úsečky	11
Obr.3 Vykreslené hranoly	12
Obr.4 Pravidelně rozmístěné profily.....	12
Obr.5 Zobrazení hran, uzlů a plochy	13
Obr.6 Delaunayova triangulace	14
Obr.7 Průběh interpolace Pycnophylactic	18
Obr.8 Algoritmus interpolace Pycnophylactic.....	19
Obr.9 Srovnání interpolace Pycnophylactic a Kriging	20
Obr.10 Nastavení parametrů interpolace Spline	25
Obr.11 Ukázka topografické mapy Karlovarského kraje	27
Obr.12 Ukázka topografické mapy Středočeského kraje.....	27
Obr.13 Ukázka možného srovnání Karlovarského a Středočeskoho kraje.....	29
Obr.14 Pronikání digitálního modelu a rastrové mapy	31

1 ÚVOD

1.1 Cíle práce

Pojetí trojrozměrného povrchu je důležité, jelikož tato vizualizace poskytuje srozumitelné získání požadovaných informací. Touto formou nemusí být znázorněn pouze průběh terénu, což je nejběžnější využití 3D modelování, ale můžeme zobrazit jakákoliv data, která jsou matematicky souvislá a měřitelná po celém jejich rozsahu. Proto není problém využít i data ze sociálních či ekonomických oborů. Ve třetím rozměru tedy může být znázorněna většina jevů. 3D modely poskytují především vizuální prezentaci, která ovšem potlačuje polohopisnou informaci.

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s problematikou 3D modelování v geografickém informačním systému ArcGIS 9.3. Modelování je zaměřeno na vytvoření tzv. cenových povrchů (neboli Cost-surfaces). Výsledkem tedy budou 3D modely, které budou znázorňovat rozložení cen vybraných socioekonomických ukazatelů na zvoleném území.

Základem práce je interpolace cen nemovitostí ve vybraných krajích, což umožňuje vytvoření celoplošné představy o cenách na daném území. Použití 3D modelů poskytuje možnost snadného získání informací o rozložení ceny. Uživatel může porovnat ceny mezi jednotlivými obcemi, a tedy může získat celoplošné povědomí o výši cen v celém okolí.

1.2 Struktura práce

Práce se dělí na dvě hlavní části. Nejprve obsahuje část teoretickou a poté přechází v praktickou část.

V teoretické části je hlavním úkolem vysvětlit pojem cenový povrch a dále se věnovat cenám vybraných nemovitostí, jako jsou stavební pozemky, rodinné domy, byty a garáže. Nejprve je zde popsán princip vzniku databáze cen nemovitostí, z které vychází tato práce. Poté je nastíněno geografické rozložení sledovaných nemovitostí a další faktory, které cenu nemovitosti ovlivňují. Teoretická část dále pojednává o 3D modelování, které je zaměřeno hlavně na prostředí ArcGIS 9.3. Zde jsou vysvětleny pojmy týkající se vytvoření modelů dvěma nejčastějšími způsoby a to TIN a rastrový model vytvořený pomocí interpolace. Dále zde jsou popsány způsoby interpolace, jejich vhodnost využití v praxi a možnosti jak 3D modely vizualizovat.

Poté už práce přechází do praktické části, kde je nejprve popsána struktura využitých dat a softwarů. Následuje nejdůležitější část, což je metodika. Zde je vysvětleno, jak byla data upravena, aby mohla být využita pro práci v prostředí ArcMap. Nakonec byl nastíněn postup vizualizace v aplikaci ArcScene.

Následně je provedena diskuse nad vytvořenými cenovými povrchy a problémy, které se během práce vyskytly.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Cost-surface

Cost-surface je možné definovat jako tzv. povrch nákladů. „Tento povrch obsahuje všechny možné vlastnosti reálného světa - faktory, které mohou ovlivnit reálnou vzdálenost (dobu přepravy) mezi dvěma objekty. Lze jej charakterizovat jako povrch, jehož každá buňka ví, "jak drahé je její překonání".“ (www.gis.zcu.cz). V této práci je ovšem cost-surface pojatý jako cenový povrch, který představuje cenu určité komodity na zájmovém území.

2.2 Ceny nemovitostí

Oceňování nemovitostí podle ČSÚ

Roku 1997 začalo spolupracovat Ministerstvo financí s Český statistickým úřadem na vytvoření systému, který bude sledovat pohyby cen nemovitostí v ČR. Hlavním zlomem ve vývoji tohoto systému se stalo vydání zákona č. 151/1997 Sb., o oceňování majetku, kde je v § 33 odst. 3 stanovena finančním úřadům povinnost předávat údaje, obsažené v daňových přiznáních o cenách zjištěných při oceňování nemovitostí a o cenách sjednaných za tyto nemovitosti v případě prodeje, Ministerstvu financí a Českému statistickému úřadu. Tento zákon začal platit dnem 1. 1. 1998.

Systém byl vytvořen, aby poskytoval informace o rozložení cenové hladiny podle druhů nemovitostí, jejich polohy a dalších rozhodujících faktorů, jakož i vývoj tohoto rozložení v čase. Systém nenahrazuje tzv. cenové mapy, které si pro svoje účely vytvářejí místní administrativy, ale poskytuje ucelené informace v globálním měřítku.

Zdrojem dat jsou daňová přiznání z převodu nemovitostí, která jsou na finančních úřadech zaznamenávána do databáze a poskytovaná Českému statistickému úřadu. Tento fakt zapříčiňuje, že data vychází z reálných, skutečně placených (přiznaných) cen.

Abychom mohli definovat průměrnou jednotkovou kupní cenu nejdříve je zapotřebí vysvětlit tyto pojmy:

- a) odhadní cena = cena vypočtená znalcem podle oceňovací vyhlášky
- b) kupní cena = cena, za kterou byla nemovitost prodána
- c) jednotková cena = cena za 1 měrnou jednotku příslušného druhu nemovitosti (1 m^2 u stavebních pozemků a bytů (podlahová plocha bytu) a 1 m^3 u rodinného domu a garáže (obestavěný prostor)).

Základním úkolem je stanovit průměrnou jednotkovou kupní cenu určitého druhu nemovitosti, která se provede v následujících třech krocích. „Nejprve se vyberou jen ty komplexní nemovitosti, jejichž kupní a odhadní cena se od sebe neodlišují extrémně. V druhém kroku se z takto vymezené množiny vezmou jen ty, kde homogenita sledovaného druhu je větší, než pevně stanovená mez pro tento daný druh nemovitosti. Ve třetím kroku se ze zbylých dat odstraní nepravděpodobné extrémny, vzniklé nejčastěji chybami při pořizování dat. Za průměrnou jednotkovou kupní cenu daného druhu nemovitosti v oblasti se potom vezme aritmetický průměr zbývajících jednotkových kupních cen sledovaného druhu nemovitosti v oblasti.“ (www.czso.cz)

Při zaměření na přesnost výsledných hodnot se nabízí otázka, zda je vhodné použít vážený či nevážený průměr jednotkové ceny v každé kategorii. Vážený průměr, kde váhami jsou velikosti nemovitostí v měrných jednotkách, je roven tzv. průměrné hodnotě, tedy podílu součtu všech cen v dané kategorii děleno součtem příslušných měrných jednotek. Užití váženého aritmetického průměru by mohlo mít zkreslující účinek na porovnání průměrných jednotkových cen mezi jednotlivými kategoriemi, pokud je skladba těchto kategorií co do velikostí nemovitostí v měrných jednotkách značně odlišná. Výsledkem porovnání obou metod průměrování je však zjištění, že výsledný rozdíl je poměrně malý a lze jej zanedbat. (www.czso.cz)

Geografické rozložení

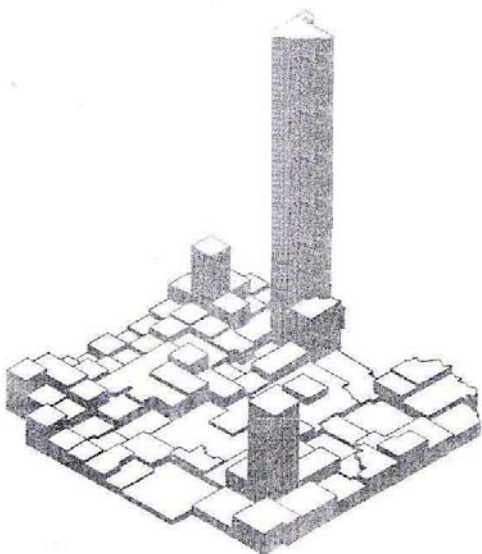
Zajímavým ukazatelem pro data o nemovitostech je frekvence prodeju vztážená na počet obyvatel. Největší frekvence prodeje rodinných domů je ve Středočeském kraji, dále pak v kraji Jihočeském a Zlínském, nižší frekvence je hlavně v Moravskoslezském a Karlovarském kraji, ovšem nejnižší je v Praze. Podobně je to i s frekvencí prodeje stavebních pozemků. Největší relativní aktivita je opět ve Středočeském, Zlínském a Jihomoravském kraji, nejnižší v Praze, Plzeňském a Karlovarském kraji. Prodej garáží je vyrovnanější, nejvíce se prodávají v kraji Karlovarském a Jihočeském, nejméně v Praze a v Olomouckém kraji. Co se týče prodeje bytů má nejvyšší počet prodeju Karlovarský, Zlínský a Ústecký kraj, nejméně kraj Moravskoslezský a Olomoucký.

Statisticky průkaznější je počet prodaných nemovitostí na osobu v závislosti na velikosti obce. Patrné je, že domy a garáže se prodávají hlavně ve středně velkých obcích (10 000 – 49 999 obyvatel), zatímco pro obce nad 50 000 obyvatel s výjimkou Prahy je doménou prodej stavebních pozemků.

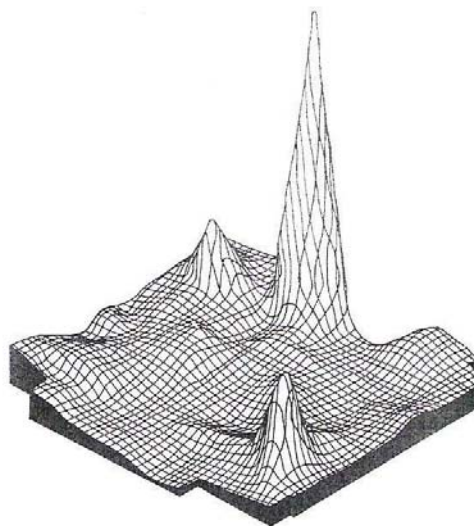
Dalším zajímavým pohledem mohou být faktory, které ovlivňují průměrnou jednotkovou cenu sledovaných nemovitostí. Nejdůležitějším faktorem, který určuje

Dalším způsobem je vykreslit celé hranoly, které budou mít podstavu ve tvaru jednotlivých podoblastí sledovaného území (obr.3).

Jiný model vyjádření statistického povrchu spočívá v tom, že je kladen důraz na velikost a směr sklonu na statistickém povrchu. Tento model je složen ze souboru pravidelně rozmístěných profilů na interpolovaném povrchu (obr.4).



Obr.3 Vykreslené hranoly
(zdroj: Robinson, 1995)



Obr.4 Pravidelně rozmístěné profily
(zdroj: Robinson, 1995)

Všechny tyto modely se skládají z bodů, které mají známé hodnoty x , y a z . Hodnoty x a y nesou horizontální, tedy polohopisnou informaci. Hodnota z obsahuje informaci vertikální neboli výškopisnou.

Statistický povrch nám poskytuje snadné vyčtení potřebných informací. Tímto způsobem můžeme prezentovat data jak o populaci, tak i např. z ekonomických oborů.

V této digitální době se do popředí dostává vizuální prezentace, zatímco polohopisné informace ztrácejí na významu. Pokud i přesto potřebujeme znát polohopis můžeme ho nalézt v digitální databázi. (Robinson, 1995)

Pro tuto práci byl využit software ArcGIS 9.3, který vytváří 3D modely pomocí TIN nebo rastrového modelu, který vzniká na základě interpolace.

2.2.1 TIN (*trianguled irregular network*)

Triangulated (trojúhelníková) – povrch TIN je tvořen trojúhelníky, které byly vytvořeny triangulací.

Irregular (nepravidelná) – trojúhelníky jsou tvořeny třemi nepravidelně rozmístěnými body, které leží v jejich vrcholech.

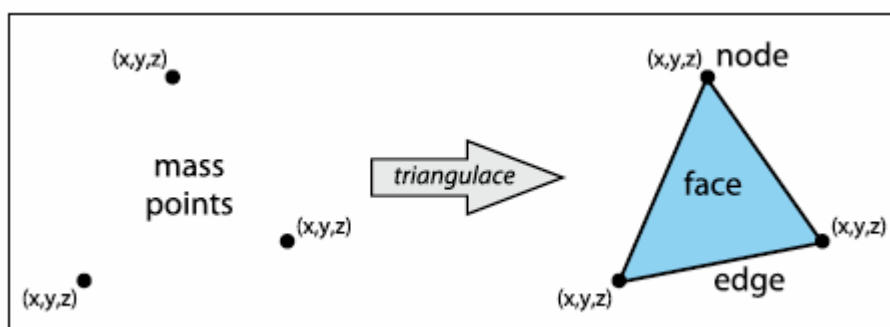
Network (sít') – v každém trojúhelníku je uložena informace o sousedním trojúhelníku, což vytváří trojúhelníkovou sít'.

Základní princip TIN

TIN byl vyvinut na počátku sedmdesátých let dvacátého století jako jednoduchý způsob, jak je možné znázornit povrch z množiny nepravidelně rozmístěných bodů.

Hlavní výhodou TIN je, že spojuje nepravidelně rozmístěné body. Tato vlastnost je nejlépe využitelná při zpracovávání nepravidelného zemského povrchu. V místech, kde je povrch hodně členitý, je vhodné umístit více bodů a analogicky v místech méně členitých stačí bodů méně. Jednotlivé body jsou následně spojovány do trojúhelníků, které na sebe navazují a tvoří tzv. spojitý povrch. Tento postup zpracování georeliéfu nazýváme triangulace.

TIN prezentuje povrch prostřednictvím spojitých, nepřekrývajících se trojúhelníkových plošek (*faces*). Vrcholy trojúhelníků vytváří uzly (*nodes*), které jsou spojeny hranami (*edges*) (obr.5). Každý uzel obsahuje známé hodnoty x , y , z , které udávají polohu i výšku bodu. Body resp. hrany by se měly nacházet na místech, která jsou pro výsledný povrch významná. (Bravený, Štych, 2008)

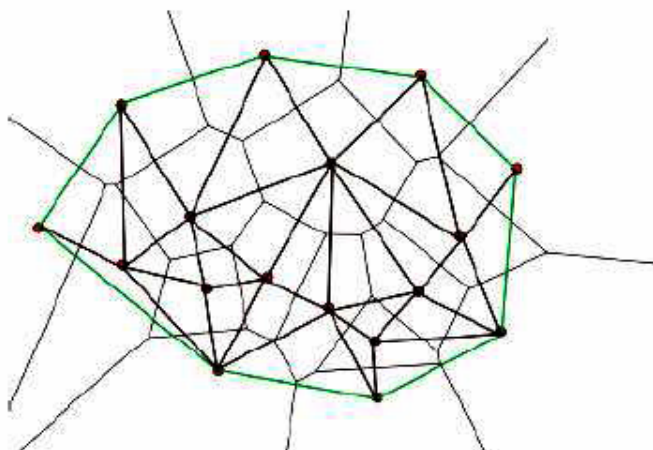


Obr.5 Zobrazení uzlů, hran a plochy (zdroj: Štych, 2008)

Triangulace

Prvním krokem triangulace je spojení sousedních bodů do sítě trojúhelníků. Hlavním problémem v této metodě bylo určení nejlepší varianty, jak tyto trojúhelníky pospojovat. Tento problém vyřešily Delaunayovy trojúhelníky (obr.6), které úzce souvisí s Thiessenovy polygony. Polygony se vytvoří nakreslením hranice mezi

interpolačními body. Všechny předpokládané body uvnitř polygonu jsou blízké k interpolačnímu bodu celého polygonu více než ke všem ostatním interpolačním bodům. Delaunayovy trojúhelníky jsou vytvořeny spojením interpolačních bodů sousedních Thiessenových polygonů. Tímto způsobem vznikají trojúhelníky na principu minimálního úhlu, což znamená, že se snaží o co nejvíce rovnostranné trojúhelníky. Výsledkem triangulace je vznik nepravidelné trojúhelníkové sítě.



Obr.6 Delaunayova triangulace (zdroj: Flajtingrová, 2009)

2.2.2 Interpolace

„Interpolace je procedura odhadu neznámých hodnot ze známých hodnot v okolí. Je součástí mnoha GIS metod, především generování DMT a povrchových analýz. Jedná se o určení hodnot jevu v místech, kde zkoumaný jev nemá hodnotu explicitně vyjádřenou.“ (Bravený, 2008, s.89). Pokud chceme modelovat v GIS, potřebujeme plně spojitě povrchy zprostředkované právě interpolací. V povrchových analýzách nás zajímají hlavně povrchy, které jsou vyčíslitelné a plynule se mění v prostoru.

Zjednodušeně interpolace je proces, který zaplňuje mezery mezi bodovými či liniovými daty. K interpolační technice jsou dva přístupy – globální a lokální. Globální metody počítají s celým povrchem, což znamená, že ve výsledku je model sice na pohled vyhlazený, ale v některých případech vůbec neodpovídá skutečnosti. To je jedním z hlavních nedostatků interpolace. Originální informace jsou během interpolace degradovány. Lokální metoda počítá na rozdíl od globální už jen s hodnotami v nejbližším okolí. (Bravený, 2008)

Interpolace je založena na předpokladu, že prostorově rozmístěné objekty jsou ve vzájemném vztahu. Ve svém okolí mají podobný charakter, jsou k sobě vázána.

Např.: pokud sněží na jedné straně ulice, je velmi pravděpodobné, že sněží i na druhé. Nemůžeme si být jisti jestli sněží v celém městě, natož v celém státě.

Interpolujeme, protože je nereálné změřit zkoumanou veličinu na každém místě sledovaného území. Body mohou být vybrány náhodně, strategicky nebo pravidelně.

Tvorba modelu dále závisí na použitých vstupních datech, která mohou být buď bodová nebo liniová. Tato práce je zaměřena na data bodová, u kterých je kladen důraz na rozmístění. Musíme brát v potaz, že pokud budeme mít body rozmístěné příliš nerovnoměrně, promítne se nám to ve výsledném modelu.

Mezi první způsoby patří manuální interpolace, která spočívá ve spojení sousedních interpolačních bodů přímou linií. Následně je provedena lineární interpolace podél těchto linií a dochází k vytvoření vrstevnic (izolinií) stejných hodnot.

Od sedmdesátých let devatenáctého století začaly být populární automatické interpolační metody. Tyto metody můžeme rozdělit podle využití interpolačních bodů na dva typy. Interpolační metody využívající skutečně naměřené hodnoty na daném místě (např. data z meteorologických stanic) a interpolační metody, které využívají hodnoty na daném místě přesně neměřitelné (např. počet obyvatel ve městě).

K automatickým interpolacím, pro která jsou vhodná přesně naměřená data, řadíme triangulaci, inverse-distance a kriging. Mezi interpolace pro přesně neměřitelné hodnoty můžeme zařadit Pycnophylactic interpolaci. (Slocum, 2005)

Interpolační metody v ArcGIS

Důležitým prvkem při tvorbě spojitých modelů je výběr interpolační metody. ArcGIS 9.3 jich nabízí několik: Inverse Distance Weighted – IDW, Kriging, Natural Neighbour interpolation, Spline, Topo to Raster a Trend.

a) Inverse Distance Weighted – IDW

Tato metoda zahrnuje tři kroky. Prvním krokem je položení pomyslné mřížky na vrcholy bodů s naměřenou hodnotou. Dalším krokem je odhad hodnot na každém uzlu mřížky ze vzdálenosti od známých bodů. Zde je předpokládán fakt, že vliv naměřených bodů na interpolovaného hodnoty se vzdáleností klesá. Nakonec se provádí interpolace mezi body mřížky, která vede k vytvoření vrstevnic (izolinií).

Výhodou této interpolační metody je, že umí efektivně interpolovat velké množství dat. IDW je nejlépe využitelná v rámci analýzy rozložení úhrnu srážek, koncentrace znečišťujících látek apod.

b) Kriging – geostatická metoda

Termín Kriging pochází od Daniela Krige, který se zabýval metodou interpolace dat získávaných při vyhledávání a průzkumu ložisek nerostných surovin.

V první fázi je postup při interpolaci podobný jako u metody IDW. Na naměřené body je položena mřížka a hodnoty jsou odhadnuty na každém uzlu mřížky pomocí váženého průměru v závislosti na vzdálenosti ke známým bodům. Dále je tato metoda založena na zjištění, že většina geoprostorových prvků je v krajině příliš nepravidelně rozložena. Z toho důvodu je pro modelování nevhodné použití některých z vyhlazovacích matematických funkcí. Kriging bere v úvahu prostorový vztah mezi členy stejné řady pozorování – mezi uzly mřížky a okolními naměřenými a mezi samotnými naměřenými body.

Prostorový vztah v datech je vyjádřen pomocí semivariogramu, který zaznamenává změny v semivarianci (tj. kolísání dat spojených s naměřenými body) se vzrůstající vzdáleností mezi body se známou hodnotou.

Existují základní dva typy:

1. Ordinary kriging – tzv. jednoduché krigování (simple kriging), je nejobecnější a nejvíce používaná metoda korigování.
2. Universal kriging – tento typ krigingu je vhodný pro data, u kterých víme, že mají určitý trend a můžeme ho odborně popsat.

Výhodou Kriging je, že umí vytvořit optimální interpolaci (jestliže je semivariogram přesně určený). Nevýhodou je časová náročnost při zpracování většího množství dat a výběr vhodného semivariogramu.

c) Natural Neighbour – Nejbližší soused

Tato metoda je stejně jako IDW založena na váženém průměru. S tím rozdílem, že nevyužívá k interpolaci všechny vložené body, ale používá tzv. Delauneyovu triangulaci. Tato triangulace je založena na principu, že kolem každého hledaného bodu se vytvoří trojúhelník ze tří nejbližších naměřených hodnot (hledání konvexní obálky) a z těch se na základě vzdálenosti vypočítá hledaná hodnota. Tato metoda je nejlépe využita u naměřených hodnot, které jsou pravidelně rozmístěny. Výhodou této interpolační techniky je, že nemusíme specifikovat parametry jako je např. radius (poloměr), váhy nebo počet sousedních bodů. (Booth, 2000)

d) Spline

Interpolační technika Spline se zabývá metodou minimální křivosti vložených bodových dat. Pro tuto interpolaci je typické využití matematicky definované křivky. Aby bylo

zakřivení co nejmenší, musí interpolovaný povrch procházet všemi vstupními body. Tato metoda je vhodná pro povrch s plynulým průběhem.

„Spliny jsou matematické funkce, které vytváří plochu s minimálním zakřivením povrchu. Do funkce vstupuje parametr – počet vstupních bodů. Čím více vstupních bodů zvolíme, tím větší vliv na interpolovanou hodnotu budou mít vzdálené body a tím plynulejší bude povrch.“ (Bravený, 2008, st.92)

Interpolace se dělí na dva typy:

1. Regularized spline – vytváří hladké, pozvolně se měnící povrchy, které se mohou nacházet i mimo oblast měření.
2. Tension spline – definuje tuhost povrchu vzhledem k charakteru modelovaného jevu. V místech, kde jsou hodnoty blízko u sebe, vytváří méně hladký povrch.

e) Topo to Raster

Tato interpolace byla speciálně navržena pro modelování hydrologických jevů v krajině. Metoda je založena na práci s vrstevnicovými daty a za předpokladu, že hlavním faktorem, který ovlivňuje průběh terénu, jsou hydrologické procesy.

f) Trend

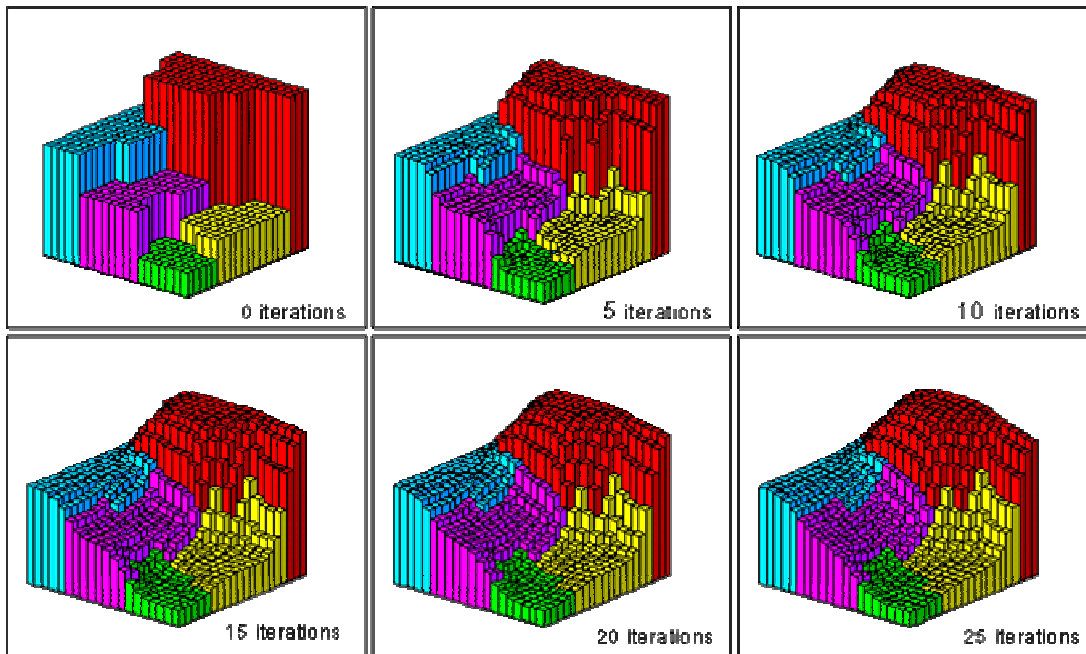
Interpolace Trend je spíše využívána k získávání dat, u kterých můžeme pozorovat určitý prostorový trend, než k vytváření povrchových modelů. Povrchy vytvořené pomocí Trend mohou být použity k popisu a odstranění hrubých rysů z dat. Výsledkem je matematický model, který je hladký a bez výraznějších lokálních rozdílů. (Bravený, 2008)

Pycnophylactic interpolace

Předchozí interpolační metody byly vynalezeny pro skutečně naměřené hodnoty a jsou běžně užívány i pro data, která jsou v určitém místě přesně neměřitelná, tzv. data abstraktní (např. hustota zalidnění v okrese).

V roce 1979 přichází Waldo Tobler¹ s mnohem sofistikovanější interpolační metodou pro abstraktní data, tzv. interpolací pycnophylactic. Cílem pycnophylactické metody je „vyřezávat“ povrch, dokud není dostatečně plynulý. Ve výsledku ale nesmí dojít k žádným objemovým přesunům z jedné vypočtené jednotky do druhé a ubírání nebo přidávání objemu v celém modelu (obr.7).

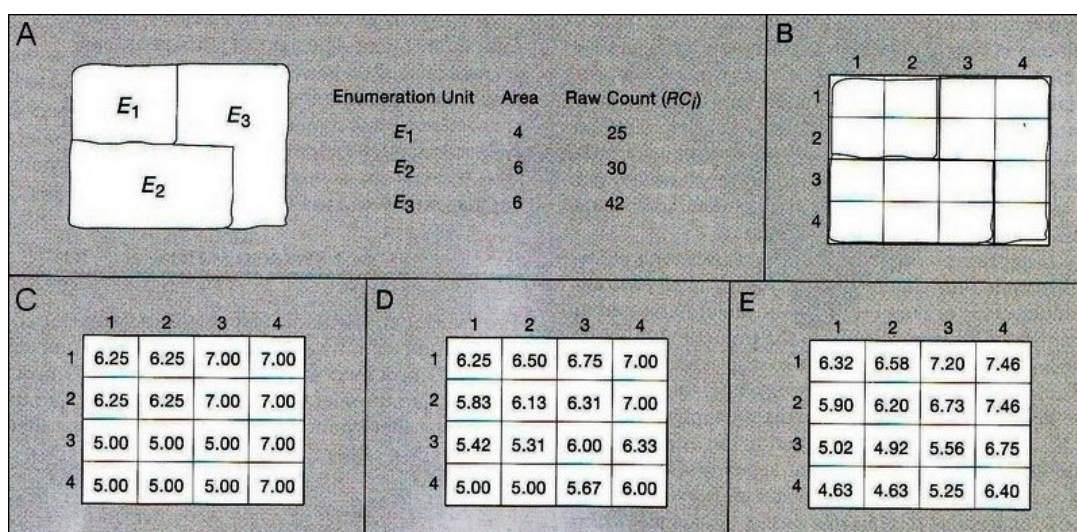
¹ Profesor geografie na Kalifornské univerzitě v Santa Barbaře



Obr.7 Průběh interpolace Pycnophylactic (zdroj: www.ncgia.ucsb.edu)

Pro vysvětlení Pycnophylactic metody do větších detailů použijeme zjednodušený algoritmus vymyšlený Ninou Lam². Pro tento účel budeme předpokládat, že máme určité hodnoty pro vypočtené jednotky (obr.8 A). Tento počet může být za počet obyvatel, plochu pšeničné sklizně v zobrazených jednotkách apod. V prvním kroku je sada čtvercových buněk překryta vypočtenými jednotkami a je rozhodnuto, které buňky spadají do kterých jednotek (obr.8 B). Dalším krokem je rozdělení přesných hodnot do každé jednotky. Hodnoty jsou vždy určeny průměrem podle počtu buněk uvnitř (obr.8 C). Třetím krokem je vypočet průměru v každé buňce ze sousedních nedíagonálních hodnot (obr.8 D). Pokud sečteme hodnoty v jedné vypočtené jednotce, součet se nebude rovnat počáteční hodnotě. Proto je každá buňka ještě vynásobena poměrem počáteční přesné hodnoty a hodnoty vypočtené ve třetím kroku (obr.8 E).

² Čínská profesorka geografie, zabývající se GIS ve vědě a prostorovými analýzami lékařských jevů



Obr.8 *Algoritmus interpolace Pycnophylactic* (zdroj: Slocum, 2005)

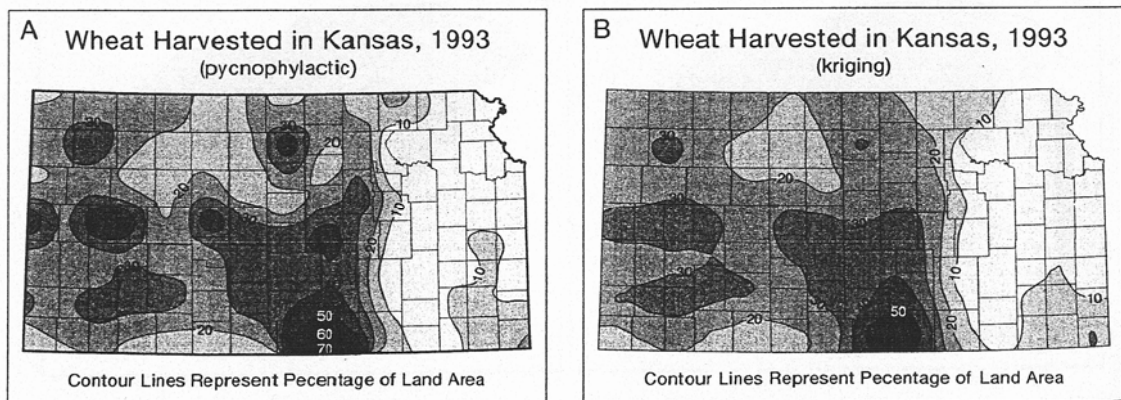
Tento algoritmus ale neřešil, jak bude naloženo s hranicemi sledovaného území. Počítačový program na Pycnophylactic interpolaci, PYCNO, poskytuje několik možností. Jednou z nich je, že nuly jsou předpokládány jako hranice regionu. Toto lze využít např. při mapování populace podél pobřeží. (Slocum, 2008)

Srovnání interpolace Pycnophylactic a Kriging

Při srovnání těchto dvou interpolačních metod na datech za sklizeň pšenice v Kansasu (obr.9), nevidíme na první pohled žádný větší rozdíl. Pokud se detailněji podíváme zjistíme, že nejvyšší izolinie u Pycnophylactic interpolace je 70 procent a nejvyšší hodnota izolinie u Kriging je pouhých 50 procent. U metody Pycnophylactic je hodnota vyšší, jelikož tato interpolace je postavena na zachování objemu v modelu. Pro lepší pochopení si můžeme představit, že nejvyšší bod modelu má přesnou hodnotu 58,5 procent. Pokud se chceme plynule dostat do okolních nižších hodnot, musí být okraje zkoseny. Aby se zachoval objem, je střední část vyzvednuta, což zapříčiňuje, že je hodnota větší.

Metody Kriging, kde každý bod mřížky je váženým průměrem okolních naměřených bodů, způsobuje, že hodnoty nemohou být větší než jakýkoliv naměřený bod.

Ačkoliv Pycnophylactic metoda je pravděpodobně vhodnější pro mapování izopleť než bodově založené interpolace, musí být zdůrazněno, že tato metoda by měla být použita jen na plynulém jevu. (Slocum, 2005)



Obr.9 Srovnání interpolace Pycnophylactic a Kriging (zdroj: Slocum, 2005)

2.2.3 Srovnání TIN a rastrových modelů

Hlavní výhodou TIN je, že přináší přesnější model než rastr. Je to tím, že vytváří povrch z bodů, které mají známou hodnotu a jejich rozložení je v závislosti na složitosti terénu. Mezi další výhody TIN patří možnost zpřesňovat výsledný model vkládáním dalších vrstev (bodů, linií a polygonů) přímo do vytvořeného modelu. V případě rastru je přesnost ovlivněna velikostí buňky. Pokud chceme rastrový model zpřesnit, musíme vytvořit nový. S tím souvisí skutečnost, že pokud bychom na rastrovém modelu chtěli lokalizovat určitou část terénu (např. vrchol, hřbet či jezero) nemůže být přesnější než jeho rozlišení. Zatímco v TIN jsou prvky vyjádřeny přesně na základě x, y souřadnic.

Z tohoto srovnání vyplývá, že rastrové modely se využívají nejvíce při tvorbě povrchů středních a malých měřítek, při různých typech předpovědí a analýz. TIN je nejlépe využitelný při tvorbě digitálních modelů reliéfu velkých měřítek a při analýzách zemského povrchu s vysokou přesností. (Bravený, Štych, 2005)

2.2.4 Možnosti vizualizace povrchů

Metody vizualizace digitálních modelů se vztahují k počtu dimenzí, které budou výsledné objekty prezentovat. Rozlišujeme:

1. 2D objekty – zahrnují rovinou grafiku.
2. 2,5 D objekty – zaznamenávají přechod mezi 2D a 3D objekty. Základem jsou 2D modely, kde body s hodnotami x, y mají nadefinovaný i třetí rozměr z .
3. 3D objekty – můžeme považovat za plnohodnotná tělesa (ke každému bodu (x,y) existuje množina souřadnic (z)).
4. 4D objekty – k 3D objektům je přidán čas jako čtvrtý rozměr.

„Mezi základní metody pro 2D i 2,5D lze zařadit metodu vrstevnic, barevné hypsometrie, stínovaného reliéfu, pro 2,5D navíc sítě vertikálních řezů. Dále lze využít i tzv. pokročilých metod vizualizace, které jsou však běžnější spíše v 3D počítačové grafice.“ (Bravený, 2008, str.82)

Nejčastější metodou znázornění reliéfu terénu je použití vrstevnic, které jsou doplněny výškovými kótami. Rozhodující charakteristikou je interval vrstevnic, který udává výškový rozdíl mezi vrstevnicemi. (www.vugtk.cz)

Při vyjádření povrchu pomocí barevné hypsometrie dochází k zařazení barevných tónů pixelů do zvolených intervalů. Nejčastěji se používají stupnice barevných tónů a odstínů, které nejlépe reprezentují zemský povrch (přechod od modrozelené, přes zelenou, žlutou, hnědou až k hnědočervené). Lze samozřejmě použít i jiných stupnic barev či odstínů jedné barvy.

Metoda stínování reliéfu vytváří dojem plastického povrchu pomocí zobrazení osvětlených a neosvětlených míst. Charakter stínu odpovídá odstupňování hodnot tónů, které se vytváří zpravidla u šikmo dopadajícího světla na reliéf. (www.vugtk.cz)

Nejvhodnější způsob vizualizace digitálního modelu je ve 2,5D. Ovšem běžně se setkáme i s 2D vizualizací, např. u tištěných map.

Vrstevnic ve 2D se nejčastěji používají při zobrazení výškopisu v topografických mapách. Jako podklad pro tématické mapy často používáme stínovaný reliéf, který vytváří plastický vzhled. Vizualizace ve 2D prostředí pomocí barevné hypsometrie je nejlépe využitelná, pokud výsledný model má následně sloužit jako vrstva k dalším výpočtům. Při konečné vizualizaci reliéfu pomocí barevné hypsometrie se jeho kvalita vztahuje hlavně ke kvalitě vstupních dat, metodě interpolace reliéfu a rozlišení pixelů. 2D vizualizace pomocí barevné hypsometrie nemusí být vždy příliš vypovídající, proto je lepší tuto metodu využít v 2,5D.

Vizualizace v prostředí 2,5D je již vhodnější pro vnímání perspektivy reliéfu. Pomocí vrstevnic nebo sítě vertikálních řetězců („průhledné“ metody) vytváříme reliéf, kde se v závislosti se změnou hustoty vrstevnic (popř. sítě vertikálních řetězců) mění i jejich čitelnost. Tato metoda se téměř nepoužívá v kombinaci s dalšími tématickými vrstvami. Lepší znázornění terénu ve 2,5D je stínování či obarvení reliéfu, s tím rozdílem, že u stínovaného reliéfu se využívá průhlednosti nadložních vrstev. (Bravený, 2008)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Použitá data

Český statistický úřad

Český statistický úřad (ČSÚ) je ústřední státní orgán České republiky, který zajišťuje sběr, zpracování a publikaci statistických údajů. Jako hlavní orgán státní statistické služby také dohlíží na sběr a zpracování statistických údajů, která provádí jednotlivá ministerstva. ČSÚ pravidelně zveřejňuje velké množství dat o ekonomickém a sociálním vývoji ČR. Úřad také vydává množství publikací včetně Statistické ročenky ČR. (www.wikipedia.cz)

Český statistický úřad poskytuje databázi cen sledovaných nemovitostí v letech 2005 – 2007 dle okresů v závislosti na velikosti obce. Obce byly rozděleny podle počtu obyvatel do tří příp. čtyř intervalů: méně než 2000 obyv., 2 000 – 9 999 obyv., 10 000 – 49 999 obyv. a 50 000 a více obyv. Pro tuto práci byly vybrány průměrné kupní ceny za 1 m² stavebního pozemku a bytu a za 1 m³ rodinného domu a garáže.

Jelikož ceny byly uvedeny za okresy a dále byly rozděleny podle velikosti obce, bylo nutné obstarat data za počet obyvatel v jednotlivých obcích za rok 2007, která byla též dostupná na ČSÚ.

Dále byla pomocí Českého statistického úřadu získána data za podíl městského obyvatelstva v krajích v roce 2007, která byla potřebná pro vybrání krajů k této práci.

ArcČR 500

ArcČR 500 je digitální vektorová geografická databáze pro území České republiky, zpracovaná v měřítku 1 : 500 000. Podkladem pro zpracování základních geografických informací v digitální formě je Mapa České republiky v měřítku 1 : 500 000 pro základní geografické prvky, Fyzickogeografická mapa ČR 1 : 500 000 pro prvky výškopisu a Vektorová databáze územně technických jednotek pro jednotky administrativního členění, které poskytl Zeměměřický úřad. Tvorbu a aktualizaci digitální formy má na starosti ARCDATA Praha.

Geografické informace jsou rozděleny do tří tématických skupin:

- a) základní geografické prvky (např. silniční síť, železniční tratě, lesní plochy, vodní toky apod.)
- b) administrativní členění (obce, okresy, kraje, spádové obvody úřadů)
- c) rozšiřující tématické informace (klad listů státních mapových děl, hraniční přechody apod.)

Výchozím souřadnicovým systémem ArcČR 500 je S-JTSK. Geografická data jsou též dostupná v S-42 nebo WGS-84. (www.t-mapy.cz)

Pro tuto práci bylo vybráno několik vektorových vrstev. Z bodových dat jsou to např. obce, které obsahují databázové informace o názvu obce, počtu obyvatel, PSČ atd. Z liniových vrstev byly zvoleny silnice, železnice a vodní toky, které opět nesou informace o svém charakteru. Dále byly použity polygonové vrstvy a to vodní plochy a administrativní hranice krajů, okresů a obcí s rozšířenou působností.

3.2 Použité softwary

Pro zpracování této práce byl využit geoinformační systém ArcGIS 9.3, který byl vytvořený americkou firmou ESRI. Nejprve byla použita aplikace ArcCatalog, kde byl vytvořen základ nových vrstev. Následovala práce v ArcMap, kde byla využita extenze 3D Analyst a další pomocné nástroje jako Georeferencing či Editor. Pro zvizualizování modelů ve třetím rozměru byla využita aplikace ArcScene.

Data byla upravena pomocí aplikace Microsoft Office Excel. K dalším úpravám byly využity freewary PhotoFiltre a Screenshot Captor.

3.3 Práce v 2D prostředí

3.3.1 Příprava dat

Jak již bylo zmíněno pro modelování cenových povrchů byla vybrána data za průměrné kupní ceny nemovitostí dle okresů v závislosti na velikosti obce v letech 2005 – 2007. Nejprve bylo zapotřebí vybrat kraje České republiky, které budou podrobeny modelování a následně vizualizaci. Jako parametr pro výběr krajů byl zvolen podíl městského obyvatelstva v krajích ČR v roce 2007, jelikož ceny nemovitostí mají úzký vztah k velikosti obce a tedy i k podílu obyvatelstva žijícího ve městě. Nejvyšší podíl městského obyvatelstva má hlavní město Praha. Jelikož data jsou za obce a Praha je zde brána jako jedna obec, není vhodné ji pro modelování cenových povrchů využít. Proto je použit kraj, který se podílem městského obyvatelstva řadí na druhé místo. S 83,4 % obyvatelstva žijícího ve městech je to kraj Karlovarský. Jako protiklad je vybrán kraj s nejmenším podílem městského obyvatelstva a to kraj Středočeský s 54,7 %. V rámci

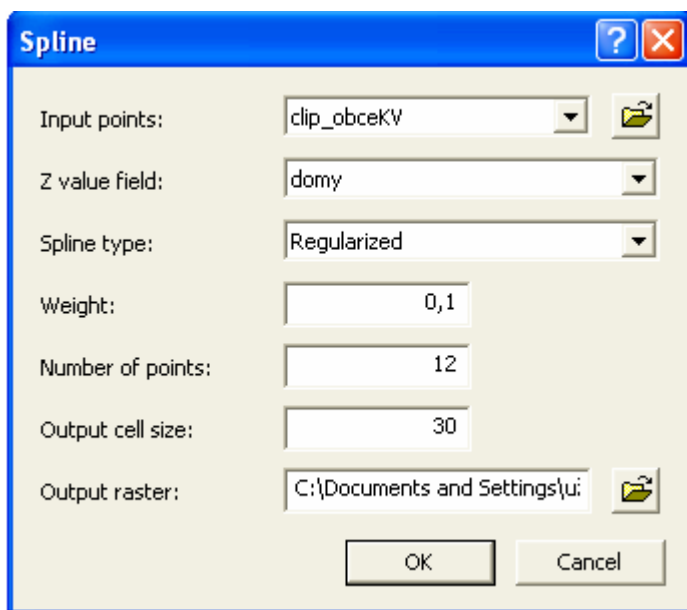
Středočeského kraje je zahrnuto i hlavní město Praha, ale pouze jako zmiňovaná jedna obec.

Následně probíhala práce v prostředí Microsoft Office Excel, kde byla jednotlivým obcím přidělena cena nemovitosti v závislosti na počtu obyvatel.

3.3.2 Práce v ArcMap

Prvním krokem v ArcMap bylo připojení tabulky s daty, které obsahují průměrné kupní ceny za vybrané nemovitosti, k bodové vrstvě obcí z ArcČR. Toto připojení bylo provedeno přes funkci *Join*, která se nachází v *Properties* vložené vrstvy. Přes kód obce, který se nachází jak u vrstvy z ArcČR tak i v excelovské tabulce s cenami nemovitostí, byla data vložena do prostředí ArcMap. Využitím kódu obce bylo zamezeno vzniku chyb, které mohou nastat např. při připojování přes názvy obcí, kde rozhoduje každá nepatrná odlišnost v pravopise. Pomocí funkce *Clip* byly oříznuty obce vybranými kraji s přilehlými okresy, aby se zamezilo velkým nepřesnostem na administrativních hranicích vybraných krajů.

Následně byla data (vždy za jednu nemovitost) interpolována pomocí metody Spline, kterou nabízí extenze 3D Analyst. Příslušnou extenzi vybereme pomocí *Tools – Extensions*. Interpolační metoda Spline byla vybrána, jelikož byla nejvhodnější interpolací pro tato bodová data. Využívá matematické vyhlazovací funkce, které zapříčiňují, že výsledný povrch je plynulý. Při tvorbě rastrového modelu je možné nastavení několika parametrů interpolace (obr.10). Nejprve je zvolena vrstva, ze které budou hodnoty vkládány. Následně je zvolen atribut, který bude představovat vertikální hodnotu, tedy hodnotu *z* (v tomto případě jsou to ceny za jednotlivé nemovitosti). Dále je na výběr typ interpolační metody Spline. Vždy volíme mezi *Regularized* a *Tension*. V této práci je využit typ *Regularized*, jelikož je zaměřen na vytváření plynulých, postupně se měnících povrchů. Poté je zde možnost nastavení váhy (*Weight*), která ovlivňuje zakřivení povrchu. Čím je hodnota váhy větší, tím má bod širší okolí vlivu, tedy povrch se stává hladším a plynulejším. Další možností nastavení parametru je počet bodů (*Number of points*), který je užíván k výpočtu každého nového bodu při interpolaci. Posledním parametrem ovlivňujícím interpolaci je velikost pixelu neboli rozlišení (*Output cell size*). V tomto případě platí, že čím je hodnota menší, tím bude výsledný rastr přesnější, ale také bude proces interpolace náročnější na hardware počítače. Nakonec už jen zbývá místo uložení interpolovaného povrchu.



Obr.10 Nastavení parametrů interpolace *Spline*

Pro snadnější vizualizaci povrchového modelu je vhodné převést rastrový model na TIN, do kterého mohou být přidávány další vrstvy, které v originálním rastru znázorněné nejsou. Tuto přeměnu provedeme jednoduše pomocí *Convert - Raster to TIN*, který se nachází v extenzi 3D Analyst. Je zde třeba nastavit *Z tolerance*, která kontroluje výškovou přesnost výsledného TIN. Čím je hodnota nižší, tím více bude v TIN bodů a výsledný model bude přesnější.

Pomocí *Add Features to TIN* ořízneme model vrstvou požadovaného kraje. V nabídce je nejprve zvolen TIN a vrstva, podle které má být oříznut. Následně je zvoleno několik dalších parametrů. V kolonce *Height source* je vybráno *<none>*, v *Triangulate as* je ponecháno *soft line* a ve zbývajícím *Tag value field* *<none>*.

3.4 Vizualizace modelů

Pro lepší vizualizaci cenového povrchu byl zvolen postup, při kterém bude nejprve vytvořena rastrová mapa představující topografický podklad, který bude následně přilepen na výsledný model.

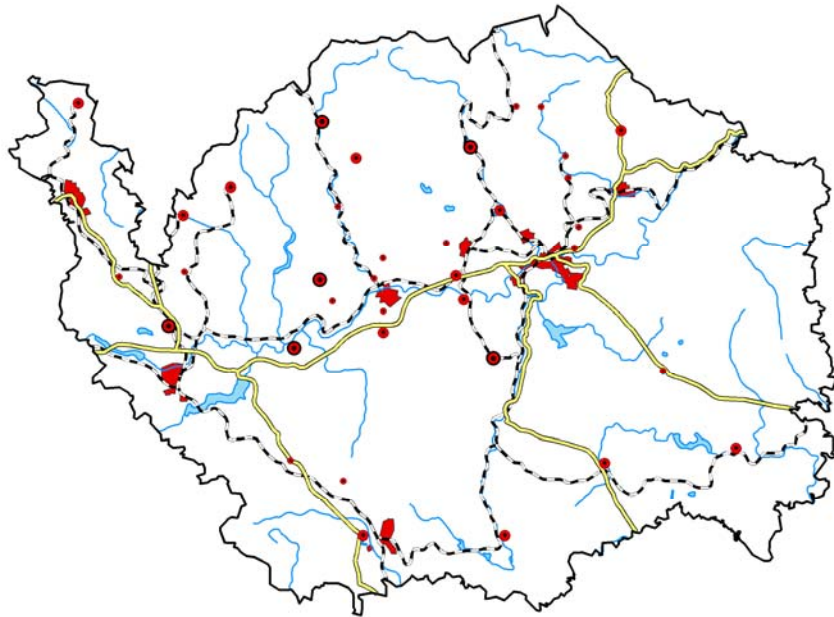
Tvorba topografické mapy

Nejprve byly do ArcMapu načteny všechny vrstvy vhodné k topografickému podkladu jako jsou obce, sídla, silnice, železnice, vodní toky, vodní plochy a administrativní hranice. Jelikož přeplněnost mapy způsobila její nečitelnost, musel být obsah podroben generalizaci pomocí nástroje Editor, který se aktivuje ve *View – Toolbars*. Poté už byla

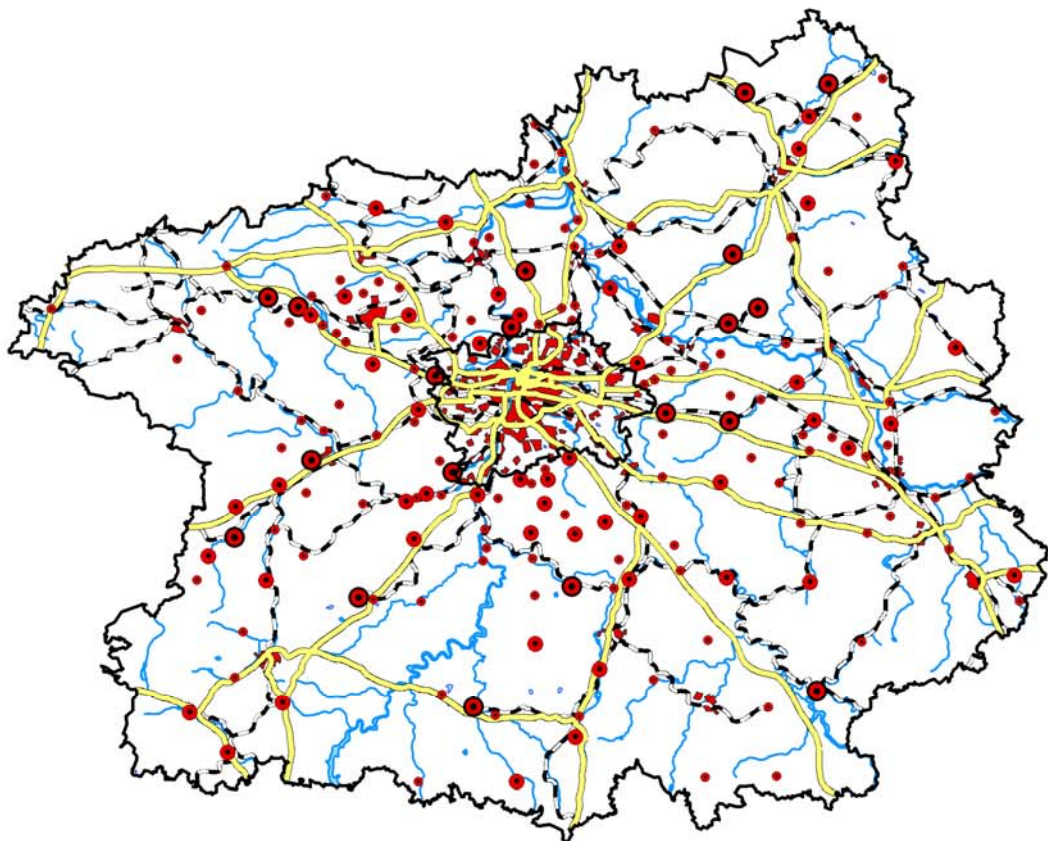
editace spuštěna (*Start editing*). Důležité je nejprve nastavit složku či databázi, ze které je požadovaná vrstva určená k editaci. Pokud je vrstev více, je nutné upřesnit požadovanou vrstvu v kolonce *Target*. Teď už jen zbývá odstranit body, linie nebo polygony, které jsou v mapě nepodstatné. U generalizace některých vrstev je vhodné využít *Selection – Selection by Attributes*, které umožňuje tyto nepotřebné hodnoty vybrat. Tento nástroj byl vhodný např. u generalizace silnic, kdy bylo třeba vybrat jen silnice I.třídy a vyšší. Následně se editace ukončí *Save Edits* a *Stop Editing*.

Dále byl u každé vrstvy pomocí *Properties*, v záložce *Symbology* nastaven vzhled a velikost. U vrstvy obcí byly ještě nastaveny kartodiagramy, které znázorňují počet obyvatel ve vybraných obcích.

Výsledná mapa byla vyexportována ve vysokém rozlišení do rastrového formátu PNG (obr.11 a 12). Následně byl tento rastr otevřen opět v ArcMapu spolu s několika vrstvami, ze kterých byla mapa vytvořena (vhodné jsou silnice a vodní toky). Poté bylo provedeno georeferencování, což znamená, že rastrová mapa je transformována do souřadnicového systému (v tomto případě do S-JTSK). V ArcMapu tuto transformaci provedeme aktivací lišty s názvem *Georeferencing* a do okna *Layer* nastavíme rastr, který se bude georeferencovat. Pomocí *Fit to display* nastavíme obrázek a potřebné liniové vrstvy tak, aby byly na středu obrazovky a georeferencování tak bylo pohodlnější. Následně pomocí *Add control points* umístíme kontrolní body vždy nejprve na rastr a poté na vrstvy, které jsou v souřadnicovém systému. Kontrolní body umístíme do té doby, než rastr přesně sedí na podkladu. Přesnost provedení transformace lze zkontrolovat pomocí ikony *View Link Table*, kde jsou patrné odchylky jednotlivých kontrolních bodů a celková odchylka transformace. Poté provedeme vlastní transformaci rastrové mapy do souřadnicového systému (S-JTSK) a to pomocí funkce z nástrojové lišty s názvem *Rectify*, kde je možné nastavit velikost výsledného pixelu, metodu interpolace, místo a formát pro uložení georeferencovaného rastru.



Obr.11 Ukázka topografické mapy Karlovarského kraje



Obr. 12 Ukázka topografické mapy Středočeského kraje

Vizualizace v ArcScene

Do ArcScene byl načten rastřin, tedy převedený rastrový model na TIN, který se podrobil úpravám jako první. Většina práce se odehrávala v *Properties* v záložkách *Symbology*, *Base Heights* a *Rendering*.

U digitálního modelu je nutné nejprve nastavit barevnou hypsometrii, což je možné provést v záložce *Symbology*. V *Add show* je nutné aktivovat *Face elevation with graduated color ramp*, který umožňuje s barevnou hypsometrii manipulovat. Dále je vhodné vypnout zobrazení povrchu s názvem *Edge types* a *Faces*, aby se zbytečně nezobrazovaly a nezatěžovaly hardware. Zvolíme barevnou škálu hypsometrie a dále je vhodné nastavit klasifikační metodu (*Classification Method*), podle které jsou hodnoty rozděleny do určitého počtu intervalů. V tomto případě byly hodnoty rozděleny do 10 tříd a klasifikační metoda proběhla manuálně s přihlédnutím na přirozené hranice (*Natural Breaks*). Následně v záložce *Base Heights* bylo nastaveno převýšení, aby byly v modelu zřetelnější výkyvy ceny.

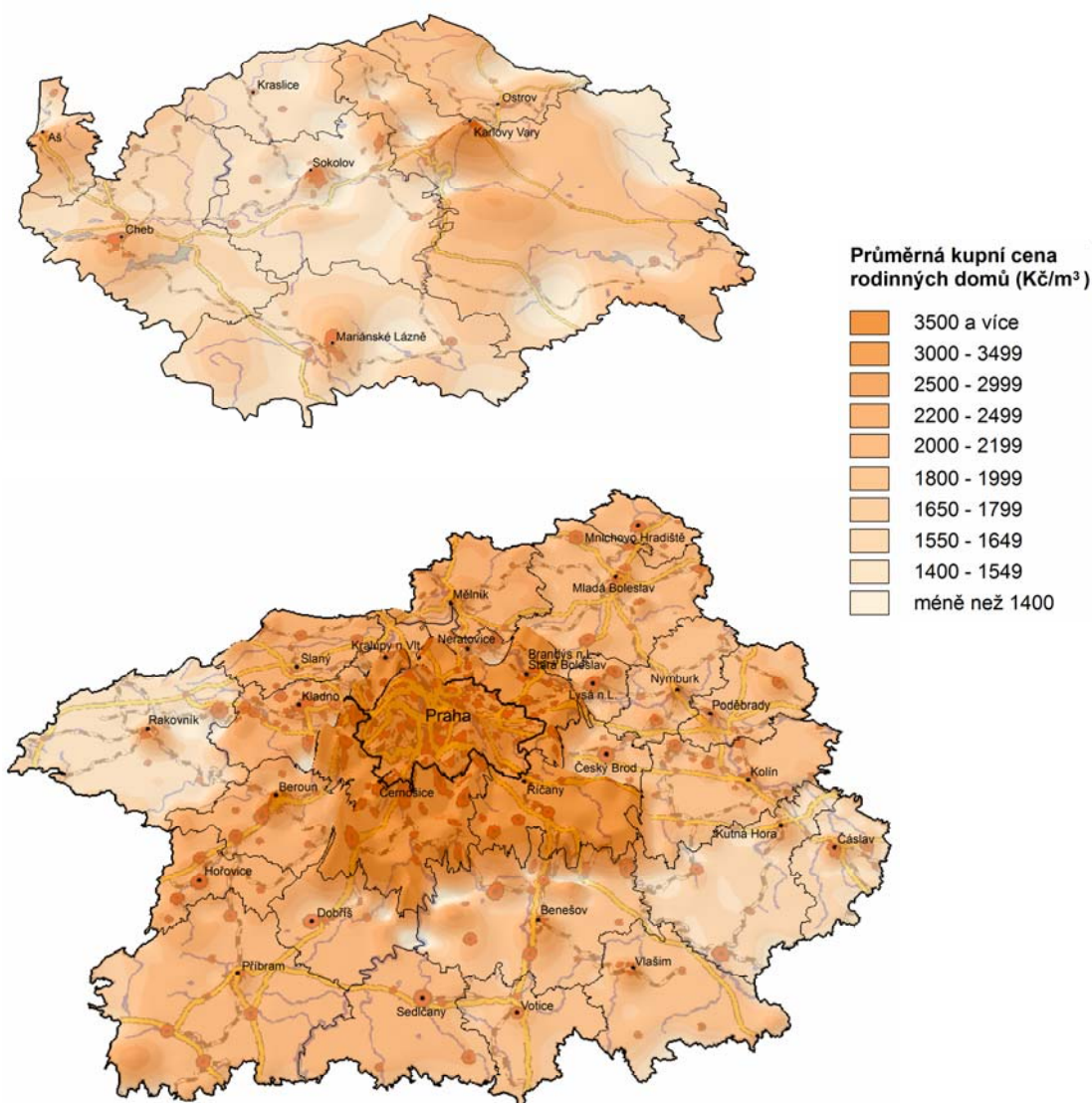
Dále byl do ArcScene přidán rastrový podklad, jehož upravení probíhalo podobně jako u digitálního modelu. V záložce *Base Heights* bylo aktivováno *Obtain heights for layer from surface* a v příslušné kolonce byl zvolen vizualizovaný 3D model. Nastaveno bylo i převýšení rastru, které by mělo odpovídat převýšení modelu. Dále v záložce *Display* byla nastavena průhlednost (*Transparency*) na 75 %, aby přes topografický podklad pronikla barevná hypsometrie. Následně byla pro lepší orientaci přidána vrstva administrativních hranic kraje a obcí s rozšířenou působností.

Model byl následně vyexportován jako rastr a vložen do ArcMap. V prostředí *Layout* proběhla úprava zbývajících detailů a pomocí funkce *Insert* byly vytvořeny dvě legendy. Jedna pro barevnou hypsometrii, kde byly nepatrně upraveny barvy, jelikož barevná hypsometrie je překryta průhlednou vrstvou topografického podkladu. Zatímco druhou legendou je znázorněn topografický podklad. Dále byl doplněn titul, podtitul, směrovka, slovní měřítko a názvy vybraných obcí.

3.5 Diskuse vytvořených 3D modelů

Porovnání vytvořených 3D modelů

Vytvořené cenové povrchy je možné mezi sebou různými způsoby porovnat. Můžeme sledovat ceny zvolených druhů nemovitostí v rámci zájmového území nebo porovnávat výši cen určité nemovitosti mezi vybranými kraji (obr.13). Pro lepší přehlednost jsou 3D modely umístěny v příloze ve formátu A3.



Obr. 13 Ukázka možného srovnání Karlovarského a Středočeského kraje

Při porovnání cen nemovitostí na celém území nejsou patrné větší výkyvy, což zapříčiňuje fakt, že ceny nemovitostí jsou na sobě závislé. V Karlovarském kraji je patrný pouze malý rozdíl u průměrné ceny garáží, kde je cena nižší v Ostrově a Mariánských Lázních v porovnání s ostatními typy nemovitostí. Za povšimnutí stojí i okolí Sokolova s nižšími cenami u všech vybraných nemovitostí. Při srovnání cen nemovitostí ve Středočeském kraji je na první pohled zřejmá jejich vysoká rozkolísanost. Nejvíce odlišné jsou průměrné ceny bytů, opakem jsou průměrné ceny garáží, kde muselo být nastaveno větší převýšení, aby byly alespoň nějaké rozdíly v rozmístění cen viditelné. U cen stavebních pozemků můžeme pozorovat plynulejší narůst ceny k hlavnímu městu. Na rozdíl od průměrných cen rodinných domů a garáží, kde je zřejmý strmý vzestup ceny.

Pokud porovnáme vybrané kraje z hlediska jednotlivých nemovitostí, je na první pohled patrné, že větší ceny jsou v kraji Středočeském. Dalo by se ovšem usuzovat, že pokud má Středočeský kraj nejnižší podíl městského obyvatelstva v České republice, bude mít i nižší poptávku po bydlení. V tomto případě ovšem hraje největší roli Praha. U modelů můžeme dále sledovat prudký nárůst ceny v blízkém okolí Prahy, hlavně v okresech Praha-Východ a Praha-Západ. Při srovnání cen stavebních pozemků v Karlovarském kraji jsou ceny celkem vyrovnané kromě krajského města, kde jsou ceny v porovnání vyšší. U Středočeského kraje je patrný vzestup cen směrem k Praze a vyšší ceny v městech nad 8 500 obyvatel. V případě rodinných domů je cenový trend podobný jako u stavebních pozemků. U průměrných kupních cen bytů je viditelná velká rozkolísanost, patrná hlavně u Středočeského kraje, která je způsobena především velikostí obce sledovaného typu nemovitosti.

Problémy během vytváření cenových povrchů

Jedním z hlavních problémů se stala nestabilita softwaru ArcGIS 9.3, která provázela téměř celou práci. Vygenerování 3D modelů bylo pro hardware počítače velmi náročné, což zapříčinilo i to, že místo 3D modelů Česka byly vytvořeny cenové povrchy za menší jednotky naší republiky. Ačkoliv modely za ČR vytvořeny byly, musely být sníženy nároky na přesnost a rozlišení a proto se nedaly ve výsledku použít. Z tohoto důvodu byly vybrány dva kraje, u kterých může být model propracován do větších detailů. Rozsáhlá rozmanitost průměrných cen některých druhů nemovitostí zapříčinila viditelnost pouze měst s nejvyšší cenou nemovitosti, což jsou zároveň města největší, teda Praha, Brno, Ostrava, Plzeň apod. Při použití převýšení by sice některá menší města vynikla, ale při srovnání s Prahou by byla stejně zanedbatelná. Řešením by bylo vytvoření matematického vzorce pro snížení maxim, který by však způsobil zkreslení celého modelu. Stejný problém by se ještě více projevil při modelu za větší území, kde by se dala srovnávat pouze velká města. Ostatní rozdíly by byly neznatelné.

Mezi další problémy, které se objevily v návaznosti na výkon počítače, patřilo umístování názvů do vytvořeného modelu v aplikaci ArcScene. Jelikož se při každém pohybu v ArcScene model delší dobu načítal, byl nakonec popis obcí vytvořen v aplikaci ArcMap, kde bylo jednodušší popisy umístit a dále s nimi pracovat.

Jedním z nejzávažnějších problémů byla interpolace dat, pro kterou byla vybrána metoda Spline. U výsledného modelu bylo ve třech případech zjištěno, že interpolací vznikly i záporné hodnoty. Toto úskalí se projevilo u cen stavebních pozemků, jejichž cena v reálu klesá přibližně k 100 Kč/m² a u ceny bytů ve Středočeském kraji, kde byla příliš velká rozkolísanost dat. Tento problém byl opodstatněn malou hustotou dat a jejich nerovnoměrným rozmístěním. Funkce modelů je proto pouze orientační.

Hodnoty tvořené interpolací lze brát pouze jako teoretické, které se od skutečnosti mohou v jednotlivých lokalitách výrazně lišit.

Jiný problém nastal u pronikání polygonových vrstev digitálním modelem. Nejprve bylo zamýšleno, že na vytvořený model budou přidány vrstvy obcí, sídel, silnic, železnic, vodních toků a vodních ploch. Jelikož docházelo k tomu, že se polygonová vrstva ztrácela pod modelem, bylo použito o něco větší převýšení než u modelu. Zmíněná polygonová vrstva sídel ležela většinou na největších nerovnostech modelu. Vytvořené převýšení způsobilo, že vrstva se nacházela nad modelem a vytvářela dojem „létání“ sídel nad modelem. Nakonec byla vytvořena topografická mapa v prostředí ArcMap, ve které bylo možno vytvořit kartodiagramy v závislosti na počtu obyvatel v obci a doplnit jí o zbývající topografické prvky. Vytvořená mapa byla přidána k digitálnímu modelu, ale vyskytl se stejný problém jako u polygonů (Obr.14). Proto bylo využito drobného převýšení, které jako celek už nevytvářelo dojem, že podkladová mapa je nad digitálním modelem. V tomto případě bylo možné využít i *Extrusion*, což je nástroj, který umožňuje polygony vysunout nad povrch (podobně jako převýšení).



Obr.14 Pronikání digitálního modelu a rastrové mapy

Doplnění mapových prvků k modelům muselo být provedeno v ArcMap, jelikož je ArcScene specializován na vizualizaci digitálních modelů a neobsahuje potřebné nástroje. V prostředí ArcMap byla dále vytvořena legenda barevné hypsometrie modelu. Tím vznikl problém, že pravé barvy hypsometrie byly překryty topografickou vrstvou s nastaveným procentem průhlednosti. Z tohoto důvodu bylo nutné lehce pozměnit barvy v legendě hypsometrie, aby odpovídali skutečným barvám na modelu. K tomu pomohl grafický editor PhotoFiltre, který dokáže z rastrového obrázku určit barvu v hodnotách RGB. Tyto hodnoty byly následně zadány do legendy v ArcMap. V případě topografické legendy byly barvy zanechány v originální podobě, jelikož barva prvků této legendy se měnila v závislosti na barevné stupnici hypsometrie.

Posledním problémem, který při tvorbě cenových povrchů vznikal, byl export stínovaného povrchu z prostředí ArcScene. Tato aplikace umožňuje vyexportování scény do 2D, ovšem stíny se jeví jako šedé elipsy, které vytváří nepěkný vzhled. Proto byl pro exportování map použit nástroj Screenshot Captor umožňující snadné a rychlé snímání obrazovky.

4 ZÁVĚR

Nejdůležitějším úkolem této práce bylo zjistit, jestli je možné pomocí geoinformačního systému ArcGIS 9.3 vymodelovat cenový povrch, který vznikne pomocí interpolace cen určité komodity.

Výsledkem práce je tedy osm 3D modelů zaměřených na cenu nemovitostí, která je v této době z ekonomického hlediska zajímavým ukazatelem. Modely zobrazují průměrnou kupní cenu stavebních pozemků, rodinných domů, bytů a garáží v kraji Karlovarském a Středočeském. Cenové povrchy jsou utvořeny tak, aby bylo možné vizuální porovnání mezi nemovitosti samými a mezi vybranými kraji.

Jelikož interpolace je proces odhadu neznámé hodnoty ze známých hodnot v okolí, je zřejmé, že může docházet k velkým nepřesnostem. Tento jev tedy není v cenové problematice nejvhodnější nástroj. Cenové povrchy podávají uživateli názorný pohled na rozložení cenové hladiny, která nám určuje přibližnou cenu v zájmové oblasti. Tyto vizualizace ovšem nemůžeme využívat při zjišťování přesných hodnot, které se mohou dohledat pouze v databázích, ze kterých pocházejí. I přes nepřesnosti je neoddiskutovatelným pozitivem možnost sledovat pravděpodobný vývoj cen v celém prostoru, nikoliv pouze nespojitě pro jednotlivé lokality. Ve spojení s vizualizací ve 3D prostoru přináší navíc mnohem větší názornost pro uživatele, včetně laické veřejnosti.

Ať už se jedná o použití různých interpolačních metod či jiného způsobu 3D vizualizace, tato práce poukazuje na nepřeberné množství způsobů, jak 3D modely cenových povrchů vytvořit s pomocí geoinformačních systémů. Hlavní myšlenkou celé práce je fakt, že většina spojitých jevů může být prezentována ve třetím rozměru.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ArcČR 500 [CD-ROM]. Praha: ARCDATA PRAHA, s.r.o., 2003.
- BOOTH, B. 2000. Using ArcGIS 3D Analyst. USA 2000, ESRI
- Český statistický úřad [online]. 2009 [cit. 2009-05-25]. Dostupný z URL:
<<http://www.czso.cz/csu/2008edicniplan.nsf/p/7009-08>>
- Department of Environmental Sciences [online]. 2006 [cit. 2009-08-05]. Dostupný z URL: <<http://www.environmental.lsu.edu/lam.html>>
- FLAJTINGROVÁ, P. 2009. Voroneho diagramy [online]. [cit. 2009-07-25]. Dostupný z URL:
<<http://num.kma.zcu.cz/galerie/MM-prace/Galerie%20MM%202009/Flajtingrova-Voroneho%20diagramy.pdf>>
- HÁJEK, F. 2008. Tvorba digitálních dynamických pohledových map. Bakalářská práce. Praha, 2008.
- National Center for Geographic Information and Analysis [online]. 1997 [cit. 2009-07-25]. Dostupný z URL: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/~uwe/pop/pycno.html>>
- POLÁČKOVÁ, J. 2008. Podoba a struktura klasifikačních prací na katedře [online]. Praha, 2008. [cit. 2009-08-15]. Aktualizováno 2009. Dostupné z URL:
<<http://www.natur.cuni.cz/gis>>
- ROBINSON, A.H. eds. 1995. Elements of Cartography, 6th Edition
- SLOCUM, T.A. eds. 2005. Thematic Cartography and Geographic Visualization, 2nd Edition
- ŠTYCH, P. a kol. 2008. Vybrané funkce geoinformačních systémů. Praha 2008, PŘF UK, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie
- ŠTYCH, P. a kol. 2006. Funkční nástroje ArcGIS 9.1. Praha 2006, učební text pro školení v rámci projektu CITT
- VOŽENÍLEK, V. 1999 Aplikovaná kartografie I – tematické mapy. Olomouc, Vydavatelství UP
- VÚGTK. 2008. Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí [online]. 2005 – 2008 [cit. 2009-08-01]. Dostupný z URL: <<http://www.vugtk.cz/slovník/>>
- T-mapy [online]. 2008 [cit. 2009-07-29]. Dostupný z URL:
<http://www.tmapy.cz/public/tmapy/cz/_geodata/prodej2/_arccr_500.html>
- Úvod do geografických informačních systémů [online]. 200-? [cit. 2009-07-29]. Dostupný z URL:
<<http://www.gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/msgisu07s07cz/default.htm>>

Waldo Tobler, Department of Geography, University of California, Santa Barbara [online]. 200-? [cit. 2009-08-05]. Dostupný z URL: <<http://www.geog.ucsb.edu/~tobler/>>

WIKIPEDIA. Český statistický úřad [online]. 2009 [cit. 2009-08-11]. Dostupný z URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cesk%C3%BD_statistick%C3%BD_%C3%BA%C5%99ad>

PŘÍLOHY

- Příloha 1 DVD s elektronickou verzí práce
- Mapa 1 Průměrná kupní cena stavebních pozemků v Karlovarském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 2 Průměrná kupní cena rodinných domů v Karlovarském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 3 Průměrná kupní cena bytů v Karlovarském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 4 Průměrná kupní cena garáží v Karlovarském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 5 Průměrná kupní cena stavebních pozemků v Středočeském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 6 Průměrná kupní cena rodinných domů v Středočeském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 7 Průměrná kupní cena bytů v Středočeském kraji v letech 2005 – 2007
- Mapa 8 Průměrná kupní cena garáží v Středočeském kraji v letech 2005 – 2007