

STRAKA A SPOL. – GIS NÁSTROJE PRO ANALÝZU STRUKTURY KRAJINY

RNDr. Vilém PECHANEC, Ph.D., Bc. Kateřina PAVKOVÁ, Ing. Zdena DOBEŠOVÁ, Ph.D.

*Katedra geoinformatiky, PřF, Univerzita Palackého v Olomouci, Tř. Svobody 26,
77146 Olomouc*

vilem.pechanec@upol.cz, katkapav@post.cz, zdena.dobesova@upol.cz

1. Úvod

Způsobů, jak pohlížet na krajinu, je nespočet. Jinak ji vnímá umělec, jinak ji vnímáme v dětství a jinak jako zemědělec. V průběhu minulého století vznikla řada vzorců a indexů, jak krajinu hodnotit a pro snadnější orientaci dále kategorizovat. Jedná se především o indexy krajinné metriky, které mohou být jednoduché a nebo složené. Zejména výpočet složitých indexů v heterogenní krajině je velmi náročné a zdouhavé.

S pronikáním geografických informačních systémů do tohoto odvětví se objevují řešení, jak výpočty indexů zefektivnit. Zdouhavé výpočty, v lepším případě doposud prováděné v tabulkovém procesoru, je možno nahradit přehledným a uživatelsky příjemným nástrojem akceptujícím prostorový charakter analyzovaných dat.

2. Analýza struktura krajiny

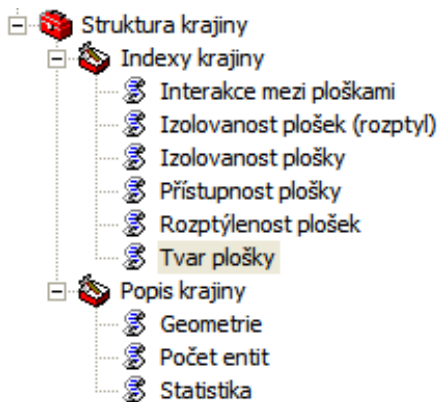
Struktura krajiny se zabývá prostorovým uspořádáním krajinných složek. Přitom vychází z rozložení energie, látek a konkrétních rostlinných a živočišných druhů a jejich vztahem k tvarům, velikostem a počtům jednotlivých typů krajinných složek a ekosystémů. Analýza struktury krajiny umožňuje určit její charakteristické prostorové vlastnosti. Ty předurčují její fungování a odráží její vývoj. Jednotlivé složky krajiny se mohou lišit velikostí, tvarem, počtem, typem, způsobem vzniku a uspořádáním. Ačkoli je každá krajina jedinečná, kvůli možnému porovnání a posouzení změn v ní, se už dlouho vedou diskuze o zobecnění její struktury. Ale i přes mnohé neujasněné názory existují vzorce pro výpočet charakteristiky krajiny.

3. StraKa (Struktura Krajiny)

StraKa je GIS nástroj pro analýzu struktury krajiny. Představuje algoritmizované a naprogramované řešení pro sadu komplexních vzorců souhrnně publikovaných Formanem a Godronem (1993).

Nástroj je vytvořen v podobě toolboxu, uživatelské nadstavby softwaru ArcGIS a je plně funkční pod ArcInfo licenci. V základní licenci ArcView fungují pouze nástroje Geometrie, Počet entit, Statistika a nástroj Tvar plošky. Toolbox je rozdělen na dva toolsety: Indexy krajiny a Popis krajiny.

Toolbox vznikl v období 2007–2008 na půdě katedry geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Pro zájemce je bezplatně k dispozici ze stránek <http://gislib.upol.cz/aplikace/>.



Obr. 1: Výsledný „rozbalený“ toolbox

Skripty pro výpočet krajinných indexů

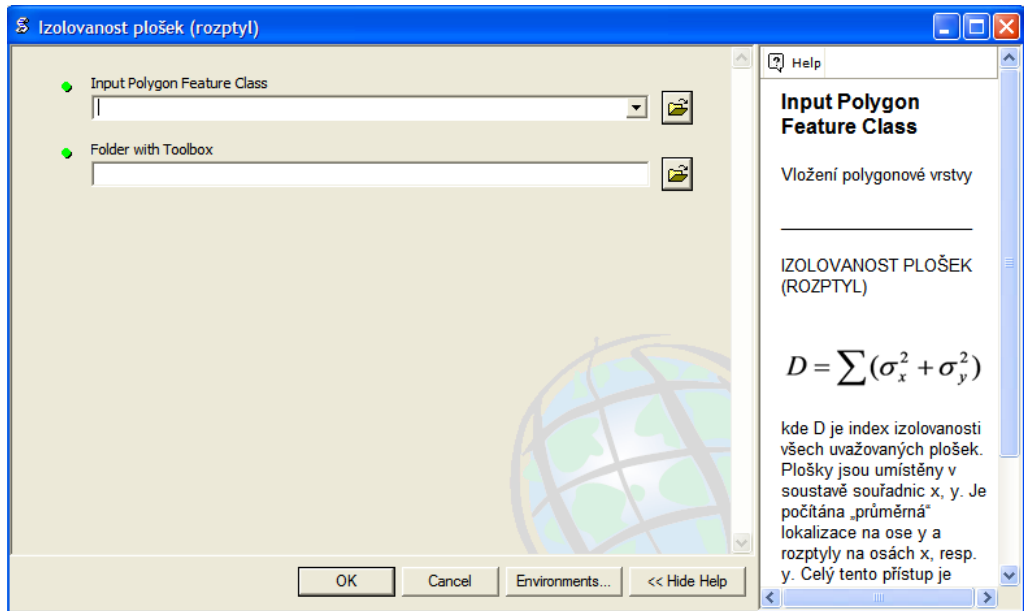
$$I_i = \sum_{j=1}^{j=n} \frac{A_j}{d_j^2}$$

- **Interakce mezi ploškami** Index důležitý pro analýzy mozaiky krajiny. Vypovídající také o spojitosti (konektivitě) mezi jednotlivými ploškami. Nástroj je v toolboxu přítomen jako skript s názvem *Interaction.py*. Vstupními daty jsou výhradně polygonové vrstvy. Hodnoty indexu jsou každému prvku přiřazeny v nově vloženém poli. (Vysvětlení všech vzorců je uvedeno v publikaci Forman et. Godron (1993): Krajinná ekologie.)

FID	Shape	AREA	PERIMETER	LEVEL	COLOR	HA	RECNO	KATEGORIE	I
0	Polygon	247774,677542	9594,611609	51	2	24,777	6826	les	6,000705
1	Polygon	1959747,70969	17682,553609	49	4	195,975	7159	louka	1,396124
2	Polygon	500744,160353	5308,422037	44	0	50,074	7224	orná půda	1,147844
3	Polygon	2322,953125	262,142493	49	4	0,232	7276	louka	8,445317
4	Polygon	3859,659795	1237,013027	51	2	0,386	7293	les	4,485509
5	Polygon	985,033214	232,370954	51	2	0,099	7314	les	2,25224
6	Polygon	528,120592	113,53838	44	0	0,053	7370	orná půda	3,001719
7	Polygon	11013,24884	1498,238629	51	2	1,101	7377	les	1,163878
8	Polygon	4103,195313	234,979457	51	2	0,41	7382	les	3,950935
9	Polygon	31677,863626	959,39238	49	4	3,168	7390	louka	0,635825
10	Polygon	172801,542968	3695,676804	51	2	17,28	7406	les	5,46999
11	Polygon	1295,453934	163,036232	51	2	0,13	7414	les	2,732251
12	Polygon	3367,707031	347,864915	51	2	0,337	7499	les	7,136239
13	Polygon	3543,011719	321,778312	49	4	0,354	7506	louka	32,411352
14	Polygon	66271,169146	1359,479195	49	4	6,627	7547	louka	3,871116
15	Polygon	33235,605469	845,52636	51	2	3,324	7551	les	11,822841
16	Polygon	5,533499	21,502255	51	2	0,001	7563	les	0,578355
17	Polygon	3301,847656	259,118797	49	4	0,33	7569	louka	5,452345
18	Polygon	566472,772434	5120,418281	49	4	56,647	7576	louka	0,462439
19	Polygon	218858,176154	14354,614312	51	2	21,886	7587	les	1,323855
20	Polygon	524,519531	95,829018	49	4	0,052	7588	louka	9,109163
21	Polygon	2909763,3654	18926,554935	49	4	290,976	7590	louka	0,409771
22	Polygon	4450,777344	344,78454	51	2	0,445	7594	les	10,678857
23	Polygon	121032,484375	1802,487721	44	0	12,103	7614	orná půda	9,309791
24	Polygon	2975,228901	272,887202	51	2	0,298	7625	les	0,336438
25	Polygon	9701,941406	443,063451	51	2	0,97	7626	les	5,775962
26	Polygon	4249,057598	656,454694	51	2	0,425	7631	les	1,314166
27	Polygon	2174,21875	256,685436	51	2	0,217	7639	les	8,170792
28	Polygon	77748,200168	5159,492666	51	2	7,775	7641	les	0,465292

Obr. 2: Výsledné nové pole v atributové tabulce s vypočtenou hodnotou indexu I_i

- **Izolovanost plošek (rozptyl)** $D = \sum(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)$ Jedná se o celkovou charakteristiku nad všemi ploškami počítanou jako intervalový odhad parametrů rozptylu souřadnic daných plošek. Algoritmus kódu *SeparatednesVariance.py* zpracovává daný vzorec. Vstupními daty jsou polygonové vrstvy. Zjištěné intervaly jsou prezentovány pomocí *ArcGIS Dialog Window*.



Obr 3: Vstupní dialogové okno nástroje Izolovanost plošek (rozptyl)

- **Izolovanost plošky** $r_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$ Zjišťuje průměrné vzdálenosti okolních plošek. Vstupními daty jsou polygonové vrstvy. Hodnoty indexu jsou zapsány do nově přidaného pole atributové tabulky. Nástroj zpracováván kódem *Separatednes.py*.
- **Přístupnost plošky** $a_i = \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$ Funguje pouze nad polygonovými vrstvami. Výsledek je zapsán do nově připojeného pole v atributové tabulce. Jde o sumarizovanou délku společných hranic mezi ploškami (polygony). Kód *Accessibility.py*.
- **Rozptýlenost plošek** $R_c = 2d_c \frac{\lambda}{\pi}$ Počítá skript s názvem *Diffusiveness.py*. Výsledkem je jednočíselná charakteristika rozptýlenosti plošek v daném, hustotou vyjádřeném, prostoru. Vstupními daty mohou být pouze polygonové vrstvy. Výsledná jednočíselná charakteristika je zobrazena v *ArcGIS Dialog Window*.

$$D_i = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}}$$

- **Tvar plošky** - Index vypovídá o geometrickém vzhledu – pravidelném, protáhlém apod. Z nepravidelného tvaru plošek lze vyvodit např. množství heterogenních procesů. Vstupními daty mohou být pouze polygonové vrstvy. Vypočtený index je prezentován v novém poli v atributové tabulce. Řeší algoritmus kódu *TheShep.py*.

Skripty pro výpočet charakteristik krajiny

- **Geometrie** - Skript nese název *Geometry.py*. Vstupními daty jsou polygonové, nebo liniové vrstvy.
- **Počet entit** - Skript se jménem *NumberOfEntity.py* zjišťuje počty entit v jednotlivých kategoriích podle rozdělení v řídicím poli. Není zde žádné tvarové omezení. Nástroj spustit nad bodovými, liniovými, polygonovými vrstvami i pouhou tabulkou. Podmínkou spuštění je určení řídicího pole.
- **Statistika** - Kód nástroje *Statistic.py* počítá zvolenému poli základní statistické charakteristiky jako jsou suma, průměr, medián, minimum a maximum. Požadovány jsou číselné údaje. Zjištěné hodnoty jsou prezentovány v *ArcGIS Dialog Window*, volitelně mohou být zapsány do .dbf tabulky nebo do .txt souboru.

Architektura toolboxu

Uvolněný toolbox je svou povahou adresář, který obsahuje všechny potřebné soubory a knihovny potřebné pro zajištění plné funkčnosti nástroje. Kromě vlastního souboru *StraKa.tbx* o velikosti 42 kB je zde přítomen adresář *scripts*. Ten obsahuje 10 skriptů v jazyce Python (2 pomocné: *HelperFunction.py* a *HelperFunction.pyc*) a statistickou tabulku. Z obsahu programu ArcGIS ze složky *\ArcGIS\ArcToolbox\Scripts* bylo převzato 6 spustitelných .exe souborů, registr a Java soubor. Pomocné skripty *HelperFunction.py* a *HelperFunction.pyc* na sebe vážou a spouštějí zbylé přídatné soubory. Proměnné a objekty *HelperFunction.py* jsou volány ze všech vytvářených nástrojů.

V průběhu vývoje byly do kódu implementovány mechanismy pro ošetření následujících možných chyb:

- Zacyklení systému a nenadálé chyby nezpůsobené uživatelem
- Vložení „prázdného“ tématu
- Vložení jiné než požadované polygonové či liniové vrstvy
- Vkládání pole již obsaženého v atributové tabulce
- Neexistence pracovního adresáře *C:/temp*

V průběhu vývoje bylo snahou vytvořit co možná nejjednodušší uživatelské rozhraní pro základní uživatele z řad ekologů. Jsme si vědomi, že teprve ostrý provoz ukáže co je třeba do budoucí verze upravit a co jsme již zvládli na počátku.

Z důvodu základní informovanosti uživatele o stavu výpočtu byly do funkčnosti toolboxu přidány informační okna pro události

- hodnoty v již existujícím poli tabulky budou přepsány
- o procentech a stupni zpracování daného úkonu

- u výpočtu některých indexů a v případě nástroje Geometrie je v závěru uživatel informován, že požadované hodnoty jsou zapsány v atributové tabulce.

Všechny nástroje obsahují komentáře a nápovědu pro nástroj obecně a pro každý jeho parametr. Komentáře jsou doplněny vzorcem daného indexu, popisem k čemu slouží a názornými obrázky. Pro psaní rozbalovací nápovědy i HTML Helpu ke každému nástroji byl využit ArcGIS modul *ArcToolbox Documentation Editor*.

Nástroj byl úspěšně testován na datech CHKO Bílé Karpaty a nad obecnými daty se základní topologií. Jako jediný nabízí výpočet pokročilejších indexů jako je přístupnost či rozptýlenost plošek.

Následující kapitoly představují velmi rozšířené extenze, které nabízí velké množství jednodušších krajinných indexů.

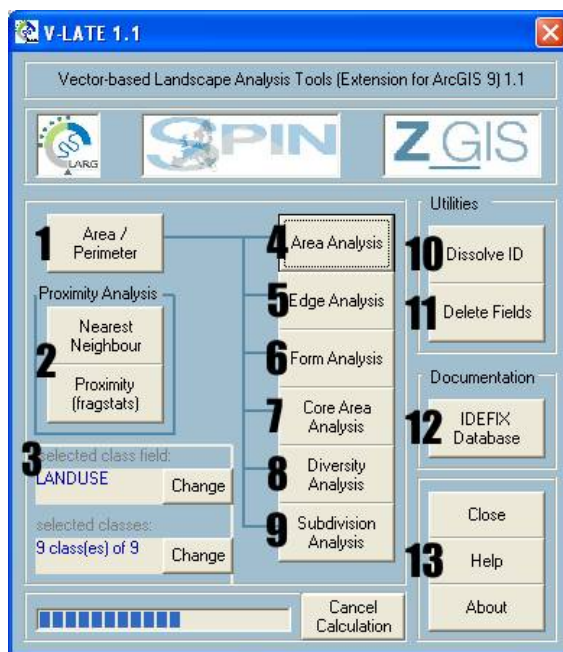
4. Vector-based Landscape Analysis Tools Extension (V-LATE)

V-LATE poskytuje sadu nejpoužívanějších tzv. metrických funkcí (krajinných indexů) ke studiu a určení krajinné struktury. Jedná se o volně stažitelný rozšiřující nástroj (extenzi) pro ArcGIS 9.x, k dispozici na stránkách <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm>. Extenze byla vyvinuta v rámci projektu SPIN na Univerzitě v Salzburgu v GIS centru katedry geoinformatiky.

Extenze pracuje s vektorově orientovanými daty polygonové topologie datového formátu shapefile (*.shp). GRID a geodatabázové soubory nepodporuje. Tlačítko extenze je neaktivní do doby, než je do projektu v prostředí ArcMap načtena polygonová vrstva. Projekce on-the-fly prozatím není touto extenzí podporována, pracuje jen s projektovanými daty. Při práci s velkým množstvím polygonů (více jak 1 500 polygonů) je proces výpočtu mnohem delší. Pokud v atributové tabulce nejsou explicitně vyjádřeny příslušné třídy, jsou extenzí automaticky vygenerovány.

V-LATE používá sedm různých typů analýz

- analýza ploch (výpočet rozlohy) - Area Analysis
- analýza tvaru - Form Analysis
- analýza okrajů (hran) - Edge Analysis
- analýza jádrových oblastí ploch - Core Area Analysis
- analýza sousedství - Proximity Analysis
- analýzy diverzity - Diversity
- analýza pododdělení - Subdivisiona Analysis



Obr. 4: Interface extenze V-LATE

Kromě zmíněných sedmi funkcí V-LATE obsahuje základní funkce jako výpočet rozlohy nebo obvodu polygonu *Area/Perimeter*. Interface této extenze je zobrazen na obrázku č. 4.

Sada analýz všeobecně popisuje tvar, uspořádání a složení charakteru krajiny. Jednotlivé analýzy jsou podle přidělených čísel uspořádány tak, v jakém pořadí by měli být správně použity. Platí tedy: když chci použít například funkci „Form Analysis“, musím nejdříve provést krok 1, spočítat „Area/Perimeter“ a poté mohu přejít na výpočet „Form Analysis“. Toto pravidlo platí i pro ostatní analýzy.

- **Area and Perimeter** – slouží pro výpočet rozlohy a obvodu vybrané polygonové vrstvy.
- Po zadání této funkce je do atributové tabulky přidán atribut AREA a PERIMETER. Pokud již vrstva tyto atributy obsahuje a ve vrstvě došlo ke změně velikosti ploch, dojde kliknutím na tuto funkci k přepsání předešlých hodnot velikosti ploch na nové, aniž by došlo k vytvoření nových atributových sloupců AREA a PERIMETER. Jediný rozdíl s následnou extenzí Patch Analyst jsou jednotky: V-LATE udává hodnoty v akrech, u Patch Analyst lze zvolit akry nebo hektary.
- **Proximity Analysis** – pro výpočet sousedství pomocí funkce *Nearest Neighbour* a *Proximity (fragstats)*. *Nearest Neighbour* pracuje s vybranými třídami z atributové tabulky. Do tabulky jsou přidány atributy: NNDist (vzdálenost k nejbližšímu polygonu), při nesousedství se automaticky zadána hodnota -999, NNID (ID příslušných polygonů NN) a NN_Area (rozloha NN polygonu). „Proximity (fragstats)“ vypočítá sousedské vztahy implementované ve Fragstats. Výsledek lze uložit ve formátu text file (*.txt).

- **Class Info** – zobrazuje aktuálně zvolenou třídu a kategorie. Pro změnu lze použít tlačítko *Change*.
- **Area Analysis** – vypočítá počet definovaných tříd v dané kategorii (*Number of Patches NP* nebo *NumP*), celkovou rozlohu plošek v m² (*Class Area CA* nebo *Total Area TA*), průměrnou velikost plošek dané třídy v m² (*Mean Patch Size MPS*) a směrodatná odchylka z vybraných plošek tříd v m² (*Patch Size Standard-Deviation PSSD*). Výsledek lze uložit ve formátu text file (*.txt).
- **Edge Analysis** – vypočítá index hustoty okrajů (*Edge Density - ED*) v m/ha, tedy poměr obvodu a rozlohy definovaných tříd, index celkové délky okrajů (*Total Edge - TE*) v metrech a index průměrné délky okrajů tříd (*Mean Patch Edge - MPE*) v metrech. Výsledek lze uložit ve formátu text file (*.txt).
- Např. Pro výpočet indexu hustoty okrajů kategorie (Edge Density – ED), extenze V-LATE spočítá tuto metriku pouze pro celé území všech kategorií, ne jednotlivě jako extenze Patch Analyst.
- **Form Analysis** – vypočítá počet tříd (*Numer of Patches – NP* nebo *NumP*), index průměrného tvaru plošky (*Mean Shape Index - MSI*), index průměrný obvod-plocha (*Mean Perimeter-Area Ratio - MPAR*) a průměrná fraktální dimenze (*Mean Fractal Dimension – MFRACT*). Zbývající tři výsledky jsou zapsány do atributové tabulky ve třech různých atributech: *paratio* (*Perimeter-Area Ratio*), index tvaru plošky (*Shape_IDx*) a fraktální dimenze (*Frac_Dim*). Výsledky lze uložit ve formátu text file (*.txt).
- **Core Area Analysis** – vytvoří novou polygonovou vrstvu s jádrovými oblastmi plošek. Atributová tabulka této nové vrstvy obsahuje informace o rozloze jednotlivých jádrových oblastí plošek. Vzdálenost je definovaná ve stejných jednotkách jako ostatní data, metrech. Funkce počítá index celkové rozlohy jádrových oblastí (*Total Core Area - TCA*) v m², počet jádrových území (*Numer of Core Areas - NP*), rozloha jádrových oblastí plošek vybrané kategorie (*Total Class Core Area - TCCA*) v m², index jádrových oblastí plošek (*Core Area Index - CAI*) v procentech. Výsledky lze opět uložit ve formátu text file (*.txt).
- **Diversity Analysis** – výpočet bohatství (Richness), relativní a potenciální hodnota Richness v procentech, Shannonův index rozmanitosti (Shannon's Diversity Index), Shannonův index rovnováhy (Shannon's Evenness Index), nadřazenost (Dominance) a Proportion. Výsledky lze opět uložit ve formátu text file (*.txt).
- **Subdivision Analysis** – pomocí této analýzy lze stanovit index dělení krajiny (*Landscape Division Index - DIVISION*), index rozdělení (*Splitting Index - SPLIT*) a velikost skutečné sítě (*Effective Mesh Size - MESH*). Výsledky lze opět uložit ve formátu text file (*.txt).
- **Dissolve ID** – tvoří algoritmus na odstranění ID přilehlých polygonů stejných tříd a vytvoří sjednocené polygony.
- **Delete Fields** – odstraní jeden nebo více vybraných atributů z atributové tabulky.

5. Patch Analyst

Extenze Patch Analyst umožňuje prostorové analýzy krajiny, podporuje modelování stanovišť, zachování biodiverzity a lesního managementu. Extenze je dostupná na internetových stránkách Centra pro výzkum severských lesních ekosystémů, univerzity

Lakehead ve dvou verzích: verze 3.12 pro program ArcView GIS verze 3.x a verze 4 (beta verze) pro program ArcGIS verze 9.1 a vyšší. Patch Analyst pro ArcGIS je dostupný též ve dvou verzích: Patch pro zpracování polygonových vrstev a Patch Grid pro rastrové (grid) vrstvy.

Menu Patch Analyst verze 3.12 tvoří 12 funkcí, které jsou rozděleny do čtyř tématických skupin.

První skupina zahrnuje tvorbu nových vrstev, funkce:

- Dissolve or Intersect Patches Polygons
- Create Core Areas
- Make Hexagon Regions

Tato skupina má v porovnání s V-LATE navíc funkce *Intersect* (křížení polygonů) a *Make Hexagon Regions* (vytvoření regionů v pravidelném tvaru šestiúhelníků, tato funkce je základem k vytvoření území pro analýzy pomocí regionů).

Druhá skupina se zabývá nastavením parametrů:

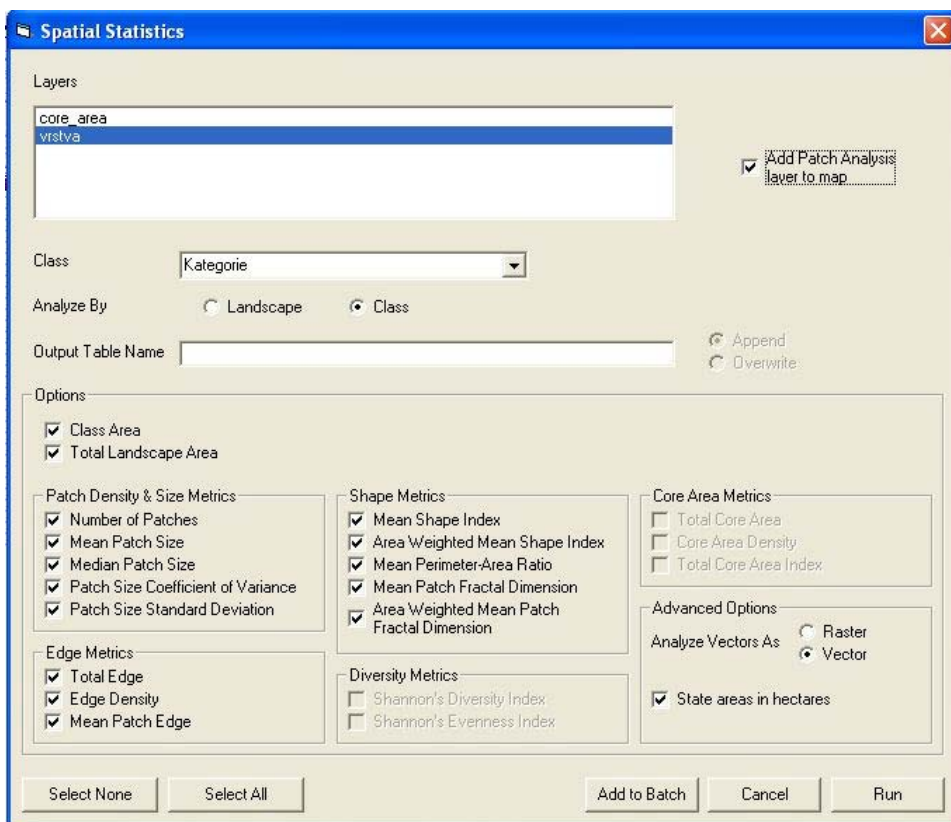
- Add/Refresh Area and Perimeter to shapefile
- Parse Species Composition String - rozdělení druhového složení řetězce = funkce rozdělí sloupec s daty jednoho atributu do daného počtu sloupců z těchto dat, například: jednotka – oddělení – dílec v lesnictví.

Třetí skupina provádí atributové modelování (dotazování):

- *Attribute Modelling* - je způsob, který umožňuje editovat atributové algoritmy, tedy dotazování, vyhledávání a přidávání informací v atributové tabulce. Díky modelu (dotazu ve formě SQL), který si můžeme sami vytvořit a uložit či naimportovat v již předpřipraveném textovém formátu, vytvoříme dotaz na specifický atributový sloupec a výsledné hodnoty se nám uloží do nového nebo předem vytvořeného atributového sloupce.

Čtvrtá skupina pracuje s prostorovými operacemi:

- *Neighbourhood mean* - funkce definuje oblasti krajiny, kde mají polygony podobné hodnoty.
- *Spatial Statistics*



Obr. 5: Interface extenze Patch Analyst-funkce „Spatial Statistics“

Extenze je určena k výpočtu všech již zmiňovaných krajinně-ekologických indexů. Stačí si zvolit vrstvu, na které chceme indexy spočítat, třídu (kategorie), čeho se analýza týká („Landscape“ nebo „Class“), zaškrtnout zobrazení nové vrstvy („Add Patch Analysis layer to map“), název tabulky DBF, do které se hodnoty uloží a nakonec jednotlivé krajinné indexy rozdělené do šesti sekcí podle specifických charakteristik (viz Obr. 5: Interface extenze Patch Analyst-funkce „Spatial Statistics“).

Za zmínku stojí indexy: vážená průměrná fraktální dimenze plošky (*Area Weighted Mean Patch Fractal Dimension – AWMPFD*) a vážený index průměrného tvaru plošky (*Area Weighted Mean Shape Index - AWMSI*) náležící do skupiny „Shape Index“ a index hustoty rozlohy jádrových oblastí plošek (*Core Area Density – CAD*) ze skupiny „Core Area Metrics“. Tyto indexy má jen extenze Patch Analyst, u extenze V-LATE chybí.

6. Závěr

Využití GIS nástrojů pro analýzu krajiny začíná nabývat na významu. Kromě jednoduchých funkcí jako výpočet plochy či vzdálenosti od určitého bodu jsou dnes k dispozici nástroje schopny vypočítat velké množství komplexních indexů. Ovšem interpretaci zůstává a dlouho ještě bude na krajinných ekoloziích.

Mezi obsáhlé a velmi rozšířené nástroje patří V-LATE a Patch Analyst. Obě extenze jsou si v řadě funkcí velmi podobné až shodné, na základě našeho testování poskytují nad

jedněmi daty shodné výsledky. Rozdíly jsou pouze ve formátech ukládání (DBF či TXT) a používaných jednotkách. Bližší srovnání je uvedeno v textu. Oba nástroje však postrádají schopnost výpočtů pokročilých indexů v duchu ekosystémové teorie. Tento neduh se snaží odstranit nová, česká, extenze StaraKa.

7. Literatura

FORMAN, R. T. T., GODRON, M.: *Krajinná ekologie*, Praha: Academia, 1993. 582 s.

Patch Analyst 4: Download Page [online]. c2008, last revision: 18. 01. 2008 [cit. 2008-01-26]. Dostupné z: <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/download.htm>

Patch Analyst: PATCH ANALYST FOR ArcGIS [online]. c2008, last revision: 18. 1. 2008 [cit. 2008-01-26]. Dostupné z: <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/images/patchanalyst.pdf>

University of Salzburg: V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extension [online]. Last revision 10.01.2006 [cit. 2008-01-27]. Dostupné z: <http://www.geo.sbg.ac.at/larg/vlate.htm>

V-LATE Help [extenze]. Verze 1.1. [Austria-University of Salzburg].