SLEDOVANIE VÝVOJA VEGETAČNÝCH PLÔCH V MESTE NITRA VYUŽITÍM DÁT DIAĽKOVÉHO PRIESKUMU ZEME

Mgr. Dana Ríčiová [1]

[1]Katedra ekológie a environmentalistiky, Fakulta prírodných vied, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, Tr. A. Hlinku 1, 949 74, Nitra, Slovakia, danka.ricci@gmail.com

Abstract

This article presents the methodology and partial results of monitoring vegetation changes in urban areas using spectral remote sensing imagery. This exercise explores differences in the quantitative distribution of vegetation at the typical Slovakian urban and semi-urban environment over two or more different years. The objective of this research is to evaluate the accuracy to utility of imagery from the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) satellite imagery to spatial classification of the land-cover. An empirical model, based upon field data and spectral information from an ASTER image, was employed to test the efficacy of ASTER for mapping land-cover changes and frequency of the green areas in the town of Nitra. There was derived green-red ratio vegetation index (GRVI) from ASTER as comparable indicator of the concentration the vegetation coverage at the areas.

Keywords: Vegetation index, satelite remote sensing, spatio-temporal changes, vegetation areas, ASTER

1 Úvod

Súčasný vývoj sídiel nitrianskeho kraja je tak, ako i u iných rýchlo sa rozvíjajúcich miest, pod tlakom zhodnocovania pozemkov zastavaním. Investičné aktivity vyvíjajú tlak na využitie voľných plôšok v krajinnej matrici, nevynímajúc v intraurbánnych zónach. Nastáva potreba vyváženia negatívnych javov rozvíjajúcej sa urbanizácie s pozitívnym účinkom vegetácie. Vegetačné plochy v urbánnom priestore plnia rozmanité primárne a sekundárne funkcie, pôsobiac ako integrujúci činiteľ nielen medzi človekom vytvorenými štruktúrami sídla a prírodnou krajinou, ale aj ako integrujúci činiteľ rôznych funkčných štruktúr v sídle ako takých [1].

Motiváciou tejto práce bolo prispieť k poznatkom možností sledovania vegetačných plôch v sídle, ich vývoja a priestorovej distribúcie s využitím snímok diaľkového prieskumu Zeme. Vstupnými dátami, ktoré boli použité pre analýzu boli satelitné snímky ASTER s priestorovým rozlíšením 15m/pixel, z dvoch časových období (rokov 2003 a 2005). Metodika bola vytvorená pre hodnotenie časovo-priestorových zmien vegetačných plôch z multispektrálnych snímok a v ďalšom výskume bude aplikovaná na snímky územia zo satelitu Quickbird z roku 2010 a ortofotosnímky z roku 2008 v pásmach RGB a NIR. Pomocou štandardných nástrojov budú snímky klasifikované s cieľom identifikácie plôch s rôznou pokryvnosťou vegetácie v časových horizontoch. Po získaní časovej série údajov o vegetačných plochách v sídle v horizonte cca 10 rokov budú vyhodnotené zmeny celkovej pokryvnosti, ako i priestorovej štruktúry vegetačných plôch v záujmovom území. Obdobne bude analyzovaný i stav a vývoj zastavaných plôch, ktorý má slúžiť ako hlavný indikátor urbanizácie. Vstupnými údajmi pre klasifikáciu a následnú validáciu satelitných a leteckých snímok sú údaje z terénneho prieskumu v záujmovom území. V terénnom prieskume bola sledovaná horizontálna a vertikálna štruktúra vegetácie, pokryvnosť vegetácie na plochách, ako aj percentuálny podiel zastavaných plôch. Tieto údaje napomôžu k odhadu zmien pokryvnosti vegetácie na urbánnych plochách, ako i k odhadu správnosti

klasifikácie a ohodnoteniu možností vzniknutého prístupu pre hodnotenie vývoja vegetačných plôch v urbánnom prostredí.

2 Materiál a metódy

2.1 Skúmané územie a súbor dát

Študované územie sa nachádza na území intravilánu mesta Nitra, nachádzajú sa tu dva typy krajinných prvkov, ulice a bloky budov, medzi ktorými sú roztrúsené parky, sprievodná vegetácia cestných komunikácií a ďalšie vegetačné plochy bez bližšieho určenia. Zoskupenia krajinných zložiek jednotlivých typov vytvárajú mestské zóny, ktoré sú od seba zreteľne odlíšiteľné. Na území sa nachádzajú zóny občianskej vybavenosti, zóny obytných území a zóny špeciálnych objektov a plôch. Pri výskume bola použitá sada snímok uvedených v tabuľke (Tab.1). Tieto snímky boli vybrané spomedzi voľne dostupných snímok satelitu Terra, ktorých je pre dané územie od roku 2000 do roku 2010 približne 18. Dôležité pri výbere vhodných snímok bolo bezoblačné počasie v čase snímania, ročné obdobie a výška satelitu nad zenitom, preto z dostupných dát boli vybraté práve tie, ktoré spĺňali tieto kritériá. Snímky boli ortorektifikované podľa pozemných kontrolných bodov v prostredí ArcGIS 9.3. Následne prevzorkované na rovnaké rozlíšenie a prekonvertované do prostredia Idrisi Taiga a prekryté maskou, ktorou sú hranice funkčných zón modelového územia (Obr.1). V území bolo vyhraničených 15 plôch, zobrazených na obr. 1, ktoré zodpovedajú modelovému výrezu reprezentujúcemu 3 funkčné zóny sídla. Plôšky sú vyhraničené podľa koridorov, alebo okrajov areálov, blokov, parciel, alebo prírodných bariér. Pre vyhraničenie funkčných zón boli údaje validované s aktuálnym územným plánom mesta Nitra.

Tab.1: *Súbor dát a ich použitie*

Časový údaj snímok /mes., rok/	**Zdroj dát /satelit, snímacie zar./**	**Produkt/ spektrálne pásma /resp. vrstvy**	**Priestorové rozlíšenie (resp. mierka)**	**GIS spracovanie**	**Účel použitia**
09 – 2003	Multispektrálny skener Terra, ASTER	Snímky v pásmach RGB, NIR	15m	Analýza orientovaná na pixel; zlučovanie do podobných tried podľa spektrálnej odraznosti prvkov; Časopriestorové analýzy	Klasifikácia do tried na základe spektrálnych charakteristík, Priestorová distribúcia vegetácie, vegetačný index, pokryvnosť vegetácie
05 – 2003	Topografická mapa, plán mesta	Funkčné zóny mesta Nitra	1:1000	Vektorizácia, rasterizácia	Pokryvnosť vegetácie v zónach
06 – 2005	Multispektrálny skener Terra, ASTER	Snímky v pásmach RGB, NIR	15m	Analýza orientovaná na pixel; zlučovanie do podobných tried podľa spektrálnej odraznosti prvkov; Časopriestorové analýzy	Klasifikácia do tried na základe spektrálnych charakteristík, Priestorová distribúcia vegetácie, vegetačný index, pokryvnosť vegetácie

2.2 Klasifikácia spektrálnych snímok DPZ

Cieľom bolo vymedziť na snímke súvislé neprekrývajúce sa regióny, odpovedajúce jednotlivým typom povrchu. Pre odhad vegetačnej pokrývky sa pristupovalo technikou pixelovo orientovanej klasifikácie. Na kalibráciu modelu krajinnej pokrývky bola použitá metóda riadenej klasifikácie.

Riadená klasifikácia pracuje na základe štatistického opisu odrazivosti jednotlivých typov povrchu, zistenej na tzv. tréningových plochách. Z tréningových plôšiek boli odvodené záznamy, ktoré štatisticky charakterizujú parametre odrazivosti každej triedy v jednotlivých kanáloch [4]. Na základe týchto údajov bol skonštruovaný model, pomocou ktorého bola určená príslušnosť zvyšku snímky k jednej z vopred určených kategórií. Validácia jednotlivých typov povrchu v teréne bola prevedená na reprezentatívnych plochách, ktoré sa vyznačujú vysokým a stálym zastúpením stromovej vegetácie, ako aj na plochách s rôznym podielom vegetácie bylinného vzrastu.

Krajinná pokrývka (land-cover) a pokryvnosť vegetácie

Keďže plochy urbánneho prostredia obsahujú rôznorodé objekty, často menšie ako je veľkosť pixelu, boli pixely definované ako prvky krajinnej pokrývky (land-cover) s rôznou mierou pokrytia vegetácie. Ide o neostré množiny dát podľa teórie fuzzy logiky. Prvým krokom je označenie prahovej hodnoty ako východiskovej hodnoty definovanej skupiny prvkov. V tomto prípade to je maximálna hodnota odrazivosti povrchov, ktorá bola určujúcim atribútom [5]. V druhom kroku boli klasifikované všetky zostávajúce pixely do najbližšej skupiny podľa ich podobnosti [3]. Skupiny sa zlučovali, keď počet členov skupiny (pixelov) bol menší ako určitý prah, alebo ak centrá dvoch zoskupení boli bližšie ako určitý limit.

Pomocou histogramov zobrazujúcich frekvencie odrazivosti jednotlivych typov povrchov, aj na základe prahových hodnôt vegetačného indexu GRVI [2] boli vyčlenené tri kategórie tried prvkov (Tab. 2). Vznikol model, pomocou ktorého je určená príslušnosť zvyšku snímky ku jednej z troch vopred určených kategórií. Index green-red ratio vegetation index (GRVI) sa počíta s využitím základných rastrových matematických operácií z dvoch rastrových vrstiev popisujúcich hodnoty odrazivosti povrchu v dvoch spektrálnych pásmach (green a red), podľa vzorca GRVI = (GREEN-RED)/(GREEN+RED). Výsledkom je mapa so súborom hodnôt GRVI. Hornou prahovou hodnotou je 0,25 ako hodnota plochy s „bohatým zastúpením“ zelených prvkov.

***Tab. 2**: Skupiny prvkov krajinnej pokrývky:*

	Kategória plôch podľa pokryvnosti vegetácie	***Trieda prvkov***	***Popis***
i.	plochy s vegetačnou pokrývkou	Vegetačné plochy, parky, sady, zapojený les, nezapojený les, rozvolnené skupiny vzrastlých drevín	Zelené povrchy
ii.	nevýrazný podiel vegetácie na ploche	Plocha môže obsahovať umelé a nepriepustné povrchy,chodníky, vodné plochy aj vegetáciu (s pokryvnosťou do 10%)	Rôzne typy povrchov, bližšie nešpecifikované, s rozlohou vegetačnej pokrývky s nevýrazným podielom z rozlohy plôšok (pattern).
iii.	Zastavané plochy	Asfalt, budovy, nepriepustné chodníky, povrchy, vodné plochy	Umelé, nepriepustné povrchy , bez zelene

2.3 Časovo-priestorové analýzy

Odvodením vegetačného indexu z každej snímky a vytvorením land-cover modelov z rôznych časových období vzniká časová séria modelov pokryvnosti vegetácie v sídle. Analytickou operáciou „nakladania vrstiev“ (OVERLAY) boli vrstvy spojené. Vydelením hodnôt dvoch vrstiev (ktorými sú vytvorené mapy skupín krajinnej pokrývky) bola vypočítaná rastrová vrstva s kladnými a zápornými hodnotami. Vyššie hodnoty vyjadrujú zmenu distribúcie vegetácie v priestore**.**

Rozdiel hodnôt vegetačných indexov v dvoch časových úsekoch

Výpočtom sme získali rastrovú vrstvu nadobúdajúcu kladné a záporné hodnoty. Najvyššie hodnoty indikujú prírastok biomasy, najnižšie úbytok. V záverečnom kroku je vhodné vykonať klasifikáciu získaných rozdielov vhodne zvoleným kritériom, ktorým by ako úroveň zmeny bola použitá hodnota rozielu hodnôt GRVI presahujúca dvojnásobok ich smerodajnej odchýlky.

2.4 Hodnotenie zmien

Zmena pokryvnosti vegetácie vo funkčných zónach

Údaje o pokryvnosti skupín vegetácie vo funkčných zónach v jednotlivých rokoch budú porovnávané. Porovnaním vrstiev jednotlivých časových období získam informácie o zmene plošno-priestorového zastúpenia vegetácie v jednotlivých funkčných plochách. Vyššie hodnoty kladné i záporné budú vyjadrovať väčšiu zmenu v štruktúre vegetácie. Pozitívna alebo negatívna zmena je indikovaná hodnotami väčšími alebo menšími ako 1. V prípade podielu hodnôt budú polohy bezo zmeny charakterizované hodnotou 1.

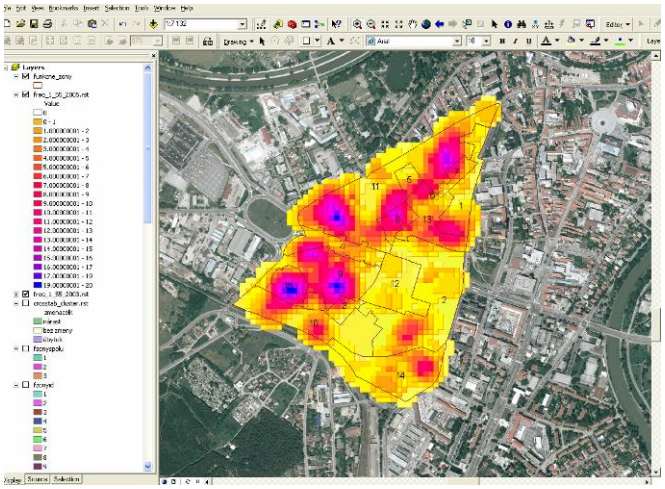
3 Výsledky

Za účelom overenia metodiky boli použité snímky multispektrálneho skenera Aster, satelitu Terra z 05.09.2003 a 06.06.2005 v rozlíšení 15m/pxl. Snímky boli ortorektifikované podľa pozemných kontrolných bodov v prostredí ArcGIS 9.3. Následne prevzorkované na rovnaké rozlíšenie a prekonvertované do prostredia Idrisi Taiga a prekryté maskou, ktorou sú hranice funkčných zón modelového územia (Obr.1). V území bolo vyhraničených 15 plôch, ktoré zodpovedajú modelovému výrezu reprezentujúcemu 3 funkčné zóny sídla. Plôšky sú vyhraničené podľa koridorov, alebo okrajov areálov, blokov, parciel, alebo prírodných bariér. Pre vyhraničenie funkčných zón boli údaje validované s aktuálnym územným plánom mesta Nitra.

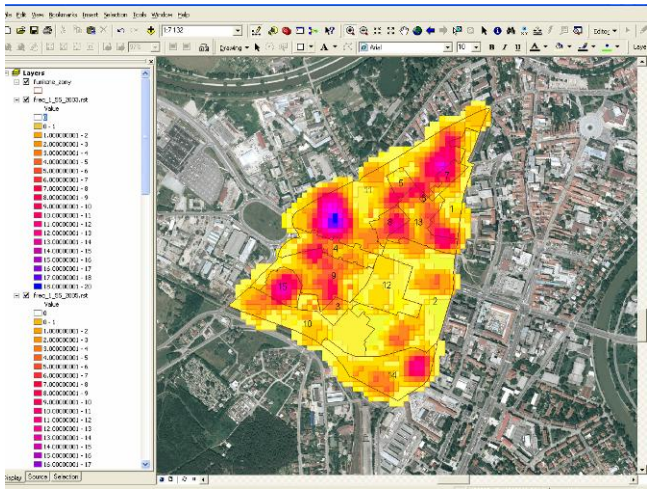
Terénny prieskum prebiehal v období rokov 2008-2009 na území priestorovo-funkčného celku Párovce, v mestskej časti Staré mesto a bol zameraný na fotodokumentáciu reálneho priestorového rozmiestnenia vegetácie na plochách. Prvotný zámer použitia týchto záznamov bol zachytiť vertikálnu štruktúru vegetácie a jej pokryvnosť na mestských plochách. Pre výskum zameraný na analýzu štruktúry a pokryvnosti vegetácie sa tu nachádzajú takmer všetky typy plôch podľa zvolených kategórií mestských plôch. Na základe zaznamenanej pokryvnosti, boli plochy určené v priebehu klasifikácie na plochy s prevládajúcou vegetáciou na ploche a plochy bez vegetácie.

Obr. 1: *Výrez satelitnej snímky ASTER 05-09-2003 v RGB spektre, s vyhraničením zón modelového územia*

Použitím modulu PATTERN v programe Idrisi Taiga som preddefinovala šablónu 3:3, na vypočítanie frekvencie plôšiek týchto troch kategórií (Obr. 2, Obr. 3).



Obr. 2: *Frekvencia plôšok s vegetáciou 05-09-2003*

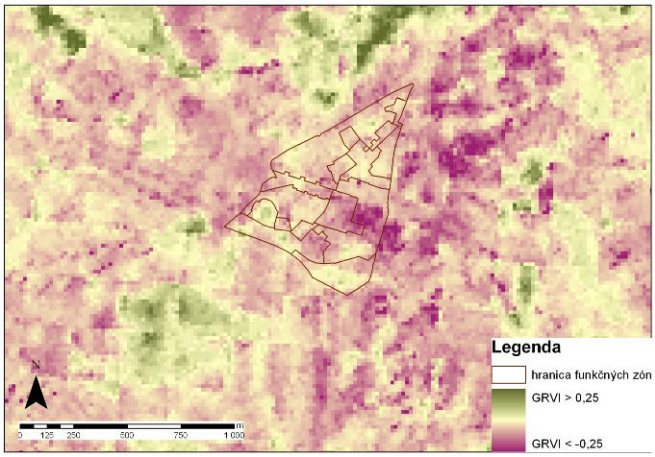


Obr. 3: *Frekvencia plôšok s vegetáciou 06-06-2005*

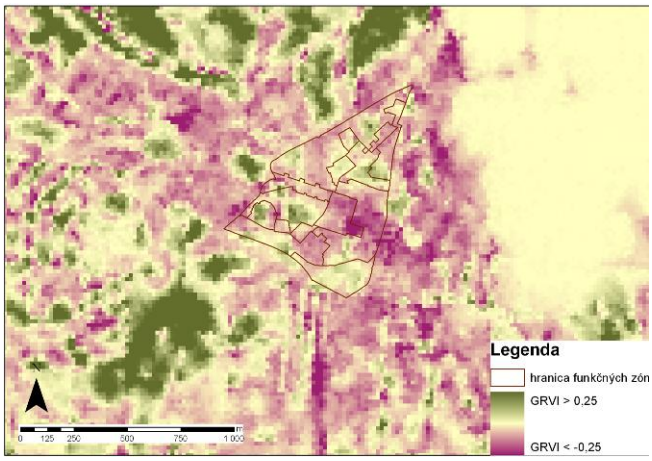
Pre analýzu plôch s vegetačnou pokrývkou bol použitý index GRVI (Obr.4, Obr.5). Vyjadruje množstvo zelenej vegetácie. Keďže má vegetácia na snímkach aj odlišné fenologické fázy, nie sú hodnoty natoľko porovnateľné, aby sa z nich dali počítať zmeny v odraznosti vegetácie na totožných plochách.

Časovo-priestorové analýzy

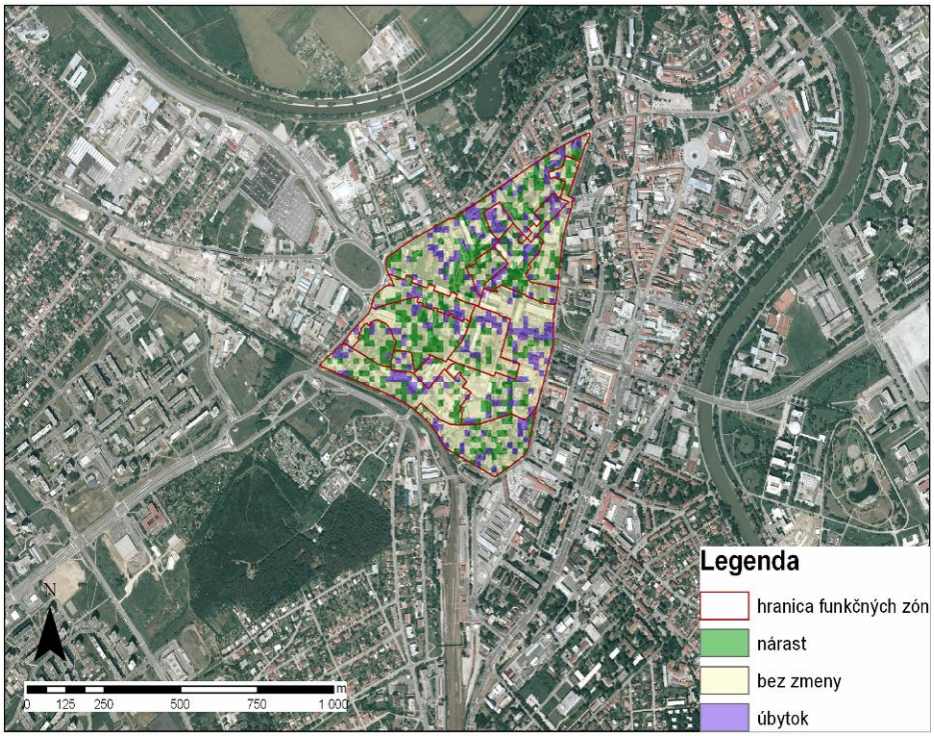
Klasifikáciou snímok z roku 2003 a 2005 boli získané analytické mapy s troma kategóriami plôšok. Tieto mapy boli vzájomne prehodnocované (krosvalidované) s použitím modulu CROSSTAB v prostredí Idrisi. Analytická mapa zmien obsahuje súbor 9 hodnôt, z ktorých na jednej strane škály sú plochy s nezmeneným podielom vegetácie, na druhej strane s nezmeneným povrchom bez vegetácie. Medzi tým sú hodnoty detekujúce nárast podielu vegetácie na ploche na úkor zastavaného povrchu, na druhej strane sú hodnoty detekujúce depriváciu vegetačných plôch pod vplyvom zastavania. Výsledná mapa zobrazuje zmeny plôch povrchov krajinnej pokrývky s upriamením na vegetačné plochy (obr. 6).



Obr. 4: *Vegetačný index GRVI z ASTER 05-09-2003*



Obr. 5: *Vegetačný index GRVI z ASTER 06-06-2005*



Obr. 6: *Zmeny podielu vegetačných plôch v časovom období rokov 2003 a 2005*

4 Diskusia a záver

Štúdium dynamiky vegetácie založené na hodnotení biofyzikálnych charakteristík zo snímok diaľkového prieskumu Zeme je v celosvetovom meradle na vzostupe. Dôvodom sú nové technológie snímania Zemského povrchu, umožňujúce použitie dát s vysokým priestorovým rozlíšením v niekoľkých spektrálnych pásmach. Dostupnosť týchto dát, ako podkladov k hodnoteniu vegetácie, bola v nedávnej minulosti len v obmedzenej miere, čo sa však v súčasnosti zmenilo a je možné získať satelitné snímky vo väčšom rozlíšení na vedecké účely aj bezplatne. Tieto snímky boli použité na vytvorenie a overenie metodiky hodnotenia zmien vegetačných plôch urbánneho prostredia.

Pri tvorbe metodiky sa vychádzalo z možnosti získať satelitné spektrálne snímky územia zo štyroch časových období. V práci boli použité voľne dostupné satelitné snímky v RGB spektre z časového obdobia rokov 2003 a 2005. Snímky umožňujú identifikovať množstvo zelenej vegetácie na území pomocou vegetačného indexu GRVI. Zistilo sa, že týmto spôsobom nie je možné porovnať množstvo vegetácie na plochách, keďže snímky boli zhotovované v období rôznych fenofáz rastlín, čo sa prejavilo nízkymi hodnotami GRVI na snímke zo septembra roku 2003, kedy už nastupuje fáza jesenného žltnutia listov. Pre presnejšie porovnanie vegetačnej pokryvnosti v rôznych rokoch by bolo vhodné porovnať variačný koeficient hodnôt GRVI jednotlivých plôch. V prípade ak by na území neboli zmeny v pokryvnosti vegetácie, by mali byť hodnoty variačného koeficientov rovnaké. Väčšie, či menšie hodnoty rozdielu by znamenali, že na území nastala výrazná zmena v pokryvnosti.

Vhodným spôsobom presnejšieho odhadu množstva fotosynteticky aktívnej vegetácie na plochách je NDVI index, ktorý sa počíta z množstva odrazeného žiarenia v infračervenom pásme. S výpočtom NDVI dostaneme hodnoty, ktoré umožňujú bližšie definovať štruktúru vegetácie

(vrstevnatosť, percentuálne zastúpenie jednotlivých etáží na ploche, zapojenosť porastu), no tu je už potrebné satelitné snímky v spektrálnom pásme NIR získať. Možnosť porovnávať snímky v obdobiach rôznych fenofázach rastlín bude podporená štatistickými výpočtami.

Pre účely hodnotenia zmien pokryvnosti vegetácie boli na základe spektrálnej podobnosti rozlíšené tri skupiny prvkov. Porovnaním tréningových plôšiek s pokryvnosťou zistenou v teréne, boli tieto tri skupiny označené ako plochy s vegetačnou pokrývkou, plochy s nevýrazným podielom vegetácie a zastavané plochy. Počas tvorby metodiky sa zistilo, že snímky zo satelitu Terra (v rozlíšení 15m/pxl) neumožňujú na základe sumy spektrálnych hodnôt rozlíšiť plochy do desiatich tried krajinnej pokrývky, o ktorých bolo uvažované pri návrhu sledovania priestorovej distribúcie vegetáce. V procese diferenciácie plôch s rôznou pokryvnosťou vegetácie sa v ďalšom výskume s použitím dát satelitu Quickbird a leteckých snímok, bude rozlišovať územie do desiatich skupín prvkov krajinnej pokrývky, podľa tabuľky č.3.

Tab.3: *Súbor skupín prvkov krajinnej pokrývky a pokryvnosť vegetácie v nich*

	Kategória plôch podľa pokryvnosti vegetácie	***Trieda prvkov***	***Popis a pokryvnosťplochy v %***	***NDVI***
1	plocha bez vegetácie	Asfalt, budovy, vodné plochy,	neobsahuje žiadny fotosynteticky aktívny materiál	< 0,2
2	rôzne povrchy so zastúpením vegetácie do 25% plochy	Plocha môže obsahovať od 75% do 99% celkovej rozlohy asfalt, budovy, vodné plochy pôdu, obnažené horniny a umelé prvky	Max. 25% rozlohy tvorí pôda porastená stromami, krami, trávobylinnými porastami, kvetinovými záhonmi, príp. machmi.	$(0,2 + n_{1)}$
3	rôzne povrchy so zastúpením vegetácie do 50% plochy	Plocha môže obsahovať umelé a nepriepustné povrchy,chodníky, vodné plochy a vegetáciu.	Z celkovej plochy, 25-50% rozlohy tvorí pôda porastená stromami, krami, trávobylinnými porastami, kvetinovými záhonmi, príp. machmi.	$(0,2 + n_1 + n_{2)}$
4	rôzne povrchy so zastúpením vegetácie do 75% plochy	Plocha môže obsahovať umelé a nepriepustné povrchy,chodníky, vodné plochy a vegetáciu.	Z celkovej plochy 50-75% rozlohy tvorí pôda porastená stromami, krami, trávobylinnými porastami, kvetinovými záhonmi, príp. machmi.	
5	trávobylinné porasty	Trávniky, lúky, bylinná vegetácia	Plocha obsahuje prevažne porast v bylinnej etáži	
6	trávobylinné porasty s nízkym zastúpením drevín (do 25% plochy)	Trávniky, lúky, bylinná vegetácia, solitérne dreviny, skupiny drevín	1-25% rozlohy pokrývaju plochu kry, stromy , 75% trávobylinného porastu	
7	trávobylinné porasty so stredným zastúpením drevín (do 50% plochy)	Trávobylinná vegetácia, solitérne dreviny, skupiny drevín	cca 50% nízka vegetácia, 50% stromy, kry	
8	medzernatá drevinná vegetácia (zastúpenie drevín do 75% plochy)	Trávobylinná vegetácia, solitérne dreviny, skupiny drevín	51-75% vzrastlá vegetácia drevín, 25-49% trávniky, záhony, trávobylinná vegetácia	
9	súvislá drevinná vegetácia s prevahou krov	Skupiny vzrastlých drevín nepravidelného rozmiestnenia	Riedko zapojený porast drevín na celej rozlohe plochy	
10	súvislá drevinná vegetácia s prevahou stromov	Skupiny vzrastlých drevín s hustým zápojom	Husto zapojený porast drevín na celej rozlohe plochy	0,8<

Poďakovanie

Vznik tohto článku bol umožnený s podporou projektu VEGA 1/0059/08 „Vlastnosti vybraných prvkov krajinnej štruktúry pre hodnotenie krajinného rázu.“

5 Literatúra

[1] Arensberg, W. et al.: *Good Practices for Urban Greening*, CENV.109, Washington D.C, 1997

[2] Falkowski, Michael, J. et al.: *Evaluating ASTER satellite imagery and gradient modeling for mapping and characterizing wildland fire fuels.* ASPRS Annual Conference Proceedings, Denver, 2004

[3] Jung, A., Kardeván, P., Glässer: *Hyperspectral technology in Urban vegetation analysis,* In: Proceedings 5th EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. Bruges, Belgium. 2007

[4] Small, Ch., Lu J.: *Estimation and vicarious validation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis.* In: Remote Sensing of Environment.2006

[5] Yang, Z. et al.: *Impact of band ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy.* The 17th William T. Pecora Memorial Remote Sensing Symposium., Denver, 2008.

.