

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav pro životní prostředí

Ekologie a ochrana prostředí, Ochrana životního prostředí



Mapování toků biomasy ve vybraném regionu s využitím GIS

Mapping of biomass flows in a selected region using GIS

Bakalářská práce

Vojtěch Stráník

Školitel: Ing. Luboš Matějček, Dr.

Srpen 2011

Poděkování

Rád bych poděkoval především Ing. Luboši Matějčíkovi, Dr. za ochotu a čas, který mi věnoval během psaní bakalářské práce, a to, jak snášel mé nestandardní pracovní nasazení, ale i všem ostatním, kteří mi svými radami a připomínkami pomohli při psaní této práce. Zvláště pak Bc. Daniele Machové za poskytnutou pomoc vždy, když jsem se v průběhu svého studia dostal do slepé uličky.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci Mapování toků biomasy ve vybraném regionu s využitím GIS vypracoval samostatně pod vedením Ing. Luboše Matějčíka, Dr. a uvedl v seznamu literatury všechny použité odborné zdroje.

Rovněž prohlašuji, že předložená bakalářská práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Praze dne

.....

Abstrakt

Tato literární rešerše poskytuje shrnutí dostupných prostředků využívaných při plánování procesu nakládání s odpadem z městské zeleně. Nejprve popisuje metody dálkového průzkumu Země vhodné pro vymezení ploch městské zeleně, poté různé techniky odhadu produkce biomasy na těchto lokalitách. Při řešení svozu se zaměřuje na práce týkající se této problematiky, které využívají geografický informační systém (GIS). Následující kapitola patří zhodnocení parametrů odpadu z městské zeleně s ohledem na jejich další zpracování. V závěru jsou porovnávány teoretické poznatky s tím, jak se postupuje v praxi.

Klíčová slova: městská zeleň, dálkový průzkum Země, geografický informační systém, svoz odpadu

Abstract

This literal review provides a summary of available instruments used for planning waste collection coming from urban green maintenance. At first it describes methods of remote sensing suitable for mapping urban green areas, then various technologies applied for estimation of biomass production at these places. Solutions of waste collection come from several papers, that tried to solve this problem using geographic information system (GIS). The following chapter evaluates different features of this waste in purpose of its next use. The last part compares theoretical knowledge, with how it works in real life.

Key words: urban green, remote sensing, geographic information system, waste collection

Obsah

1. Úvod.....	6
2. Definice a dělení městské zeleně.....	7
3. Vymezení ploch zeleně	8
3.1. Zdroje dat.....	8
3.1.1. Družice Landsat.....	8
3.1.2. Družice Ikonos.....	9
3.1.3. Družice Geoeye-1	9
3.1.4. Letecké snímky.....	9
3.2. Ruční vymezení	10
3.3. Vegetační indexy.....	10
3.3.1 RVI (Ratio Vegetation Index), SR (Simple Ratio).....	12
3.3.2 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	12
3.3.3 Tasseled Cap.....	13
3.3.4 Další vegetační indexy.....	14
3.4. Objektová klasifikace.....	14
4. Odhad množství.....	15
4.1 Zastoupení zeleně v komunálním odpadu.....	16
4.2 Měření vlastní zeleně	17
4.2.1 Stromy	17
4.2.2 Travní porosty.....	17
5. Plánování svozu.....	18
5.1. Přehled modelů zabývajících se svozem odpadu	18
5.2. Modely založené na využití GIS	19
6. Zpracování zeleně.....	21
7. Diskuze.....	22
8. Závěr.....	23
9. Přehled citované literatury.....	24
9.1. Články a publikace:.....	24
9.2. Internetové zdroje:	26

1. Úvod

Na celém světě vzniká každodenně obrovské množství odpadu. Nejinak je tomu i v České republice. Situaci zhoršuje to, že více než polovina odpadu je ukládána na skládkách, se všemi negativy, které s sebou přinášejí (namátkou zabírání značného prostoru v krajině, hygienická problematičnost, nebezpečí kontaminace spodních vod či úlety lehkých odpadků). Podstatnou část tohoto skládkovaného materiálu tvoří biologicky rozložitelný odpad. (MŽP 2009) Povinnost snižovat jeho množství přitom vyplývá ze směrnice Evropské Unie, která byla implementována do Plánu odpadového hospodářství České republiky (Nařízení vlády č. 197/2003 Sb.). Ten obsahuje preference při nakládání s biologicky rozložitelným odpadem a taktéž stanovuje jeho maximální podíl, který je možno na skládky ukládat.

Biologicky rozložitelný odpad není ke skládkování vhodný z mnoha důvodů. Při rozkladu v anaerobních podmínkách, jež na skládce panují, vzniká velké množství metanu a zároveň se do průsakových vod uvolňuje výluh. Značné objemové změny, které rozklad provázejí, pak způsobují propady povrchu a vedou k celkové destabilizaci tělesa skládky. (MŽP 2011) Ve srovnání s ostatním komunálním odpadem také obsahuje nadprůměrně velké množství vlhkosti, což ho činí problematickou složkou při pokusech o energetickém využití odpadů. (Benešová 2009b)

Z celkového objemu biologicky rozložitelného odpadu tvoří valnou většinu odpad ze zpracování městské zeleně. Pro materiál pocházející z veřejných prostranství či hřbitovní zeleně je to logické, zde tvoří kontaminace, či jiné typy odpadu minimální podíl. Avšak i v lokalitách, kde je bioodpad tříděn v domácnostech tvoří odpad ze zeleně celoročně 60 až 90%. Jeho produkce však podléhá zcela jiné dynamice, než mají ostatní komodity tříděného sběru, a proto je potřeba jeho sběr a využití posuzovat zcela individuálně. (Hanč 2011)

Tato práce si klade za cíl prozkoumat nástroje využitelné pro optimální nastavení systému zpracování městské zeleně. Od počátku, tedy rozpoznání a vytvoření mapy městské zeleně, zahrnující jak veřejná prostranství, tak soukromé pozemky, přes následné odhady množství biomasy, které bude na jednotlivých plochách produkováno, až k plánování svozu do zpracovatelského zařízení. Dalším zkoumaným aspektem je také samotná využitelnost materiálu ke zpracování (kompostování).

2. Definice a dělení městské zeleně

V literatuře jsou jako městská zeleň nejčastěji označovány městské a příměstské lesy, parky, lesoparky, zahrady, trávníky, významnou roli hrají i stromové aleje či jednotlivé stromy, keře, květinové záhony a volně rostoucí trsy travin a kvítí. Do tohoto výčtu lze také zařadit botanické zahrady, případně vegetaci zoologických zahrad. Během posledních let nacházejí své místo ve městech i golfové hřiště. (Kantková 2009)

Tuto značně různorodou skupinu můžeme dále dělit hned několika způsoby. Jedním z nich je například plošně-prostorová struktura. Ta dělí vegetaci podle místa jejího výskytu na zeleň obytných domů, což jsou plochy v sousedství obytných domů, které je navzájem oddělují a mohou na ně navazovat i další kategorie zeleně, dále zeleň centrálních městských zón neboli stromořadí, zelené pásy na náměstích a ulicích plnících funkci ekologickou a estetickou. Posledním, třetím typem je poté zeleň výrobních zón, typická především pro průmyslové části měst, jejíž hlavní funkcí je role ochranného pásma. (Supuka 1991)

Druhým často se objevujícím způsobem je členění podle stupně přirozenosti vegetace. Tu používají autoři zabývající se především ochranou životního prostředí a jeho udržitelným rozvojem. Dělení probíhá na dvě kategorie, vegetaci původní, zastoupená například lesními, lučními porosty, břehy řek a vegetaci umělou, upravované parky, zahrady, okrasné záhony. (Rohde 1994)

Třetí alternativní členění propaguje myšlenku sdružování vegetace do skupin podle adaptace podobným podmínkám a především její funkce a skladby. První skupinu vegetace tvoří oblasti vědomě zavedených a kultivovaných druhů, které jsou charakteristické pro parky, soukromé zahrady či chodníky. Funkce vegetace je v tomto případě hlavně užitková, estetická a rekreační. Sukcese je zastavena a vzhled je tvořen převážně rukou člověka. Druhou skupinou jsou oblasti nekultivované zeleně mezi něž se řadí stanoviště se zbytky původní vegetace, ale také zdi, náspy, ladem ponechaná krajina a tzv. brownfields. Na rozdíl od první skupiny se ve vegetaci těchto lokalit vyskytují různá stadia sukcese a vzhled si určuje příroda sama. (Spirn 1984)

Pro potřeby této práce, zabývající se městskou zelení jako součástí odpadu, je vhodné zavést dělení podle toho, kdo ji spravuje. Do první kategorie spadá veřejná zeleň spravovaná obcí (městem). Tu můžeme dále rozdělit na plochy, na kterých probíhá intenzivní úprava zeleně (parky, stromové aleje, záhony) a na ty, do nichž není programově zasahováno (lesy, chráněná území). Její správa je centralizovaná, často existuje inventář ploch, o které se jedná, i další

potřebné informace. Druhou kategorií pak budou tvořit zeleň v rukou soukromníků, kteří se o ní starají samostatně a neexistují k ní žádné souhrnné záznamy a plán péče. Ale ani předchozí způsoby vymezení nepostrádají smysl. Stupeň přirozenosti nebo umístění zeleně může napovědět hodně o průběhu její správy.

3. Vymezení ploch zeleně

Prvním krokem, který při musíme nutně při mapování zeleně provést, je jistě vymezení ploch, na kterých roste. V dnešní době téměř výhradně používaným prostředkem je dálkový průzkum země a různé metody vyhodnocování a rozpoznávání zelených ploch ze získaných leteckých či družicových snímků.

3.1. Zdroje dat

Kolem Země krouží nepřeborné množství družic. Nezanedbatelná část z nich je určena k průzkumu jejího povrchu. Od snímání v kontinentálním měřítku s rozlišením v řádu kilometrů (například družice NOAA) až po snímky s metrovým rozlišením. Následující výčet by měl v krátkosti představit družice běžně používané k mapování zeleně v městských oblastech, jejich výhody a nevýhody.

3.1.1. Družice Landsat

Program Landsat je projekt americké kosmické agentury NASA na snímkování povrchu Země z vesmíru. První družice byla vypuštěna již v roce 1972, v pořadí osmá by se měla dostat na oběžnou dráhu již příští rok. Aktuálně je v provozu pouze družice Landsat 5. Ta poskytuje snímky v sedmi spektrálních pásmech s celkovým rozsahem 450nm – 12 500nm a rozlišením 30m, respektive 120m pro poslední, tepelné pásmo. (NASA 2011)

Hlavním faktorem, který omezuje využití snímků z družice Landsat pro mapování městské zeleně je jejich rozlišení. V jednom pixelu o rozměru 30m se jednoduše ztratí úzký pás uliční zeleně, ale i menší zahrádky či dvorky. A to i v případě, že je použita sub-pixelová analýza, která jednomu bodu přiřazuje více typů povrchu. Navíc kombinace některých povrchů vytváří nepředvídatelné spektrální složení, jehož analýza přináší nesmyslné výsledky. (van de Voorde 2008)

Data získaná rozborem snímků z této družice jsou v městském měřítku vhodná k hrubým odhadům ploch zeleně v jeho jednotlivých obvodech. Ty mohou sloužit jako podklad k prvotnímu vymezení oblastí, ve kterých bude probíhat detailnější snímkování a další rozbor. Dále lze výsledky použít ke zjišťování větších změn v průběhu delších časových období.

3.1.2. Družice Ikonos

Družice IKONOS byla vynesena na oběžnou dráhu v roce 24. září 1999. Jedná se o první komerční družici pro dálkový průzkum Země. Poskytuje multispektrální snímky o vysokém rozlišení 4 m. Takové snímky jsou již vhodné i pro mapování malých ploch zeleně, ke kterému se často používají. V kombinaci s panchromatickými snímky o rozlišení 1 m je možné využívat i objektovou klasifikaci. (Geoeye 2011, Mathieu 2007)

3.1.3. Družice Geoeye-1

Družice Geoeye-1 je přímým následovníkem výše zmiňované družice Ikonos. Vypuštěna byla v roce 2008 a od té doby pořizuje snímky ve čtyřech spektrálních pásmech s ještě vyšším rozlišením - 1,65 m. Takového rozlišení multispektrálních snímků dnes nedosahuje žádná jiná komerční družice. (Geoeye 2011)

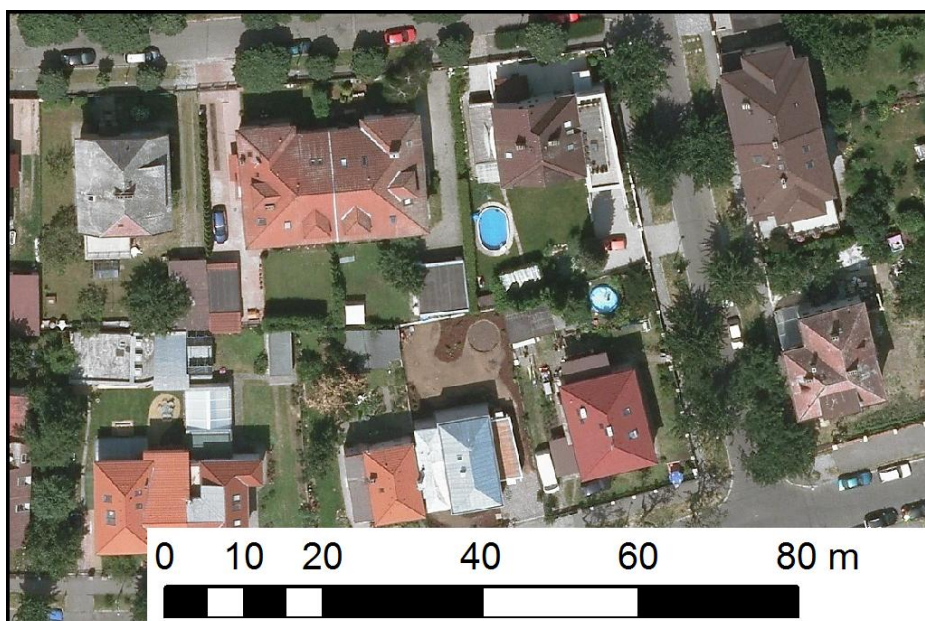
3.1.4. Letecké snímky

Historie leteckého snímkování sahá do mnohem starší doby, než družicové snímkování. První fotografie z horkovzdušných balónů byly pořizovány již v druhé půlce 19. století a využívány ke zmapování lesů ve Spojených státech amerických. (Brilis 2000)

Dnes letecké snímky poskytují ještě vyšší rozlišení než nejmodernější družice (Obrázek 1). Navíc technika v této oblasti se velmi rychle vyvíjí a umožňuje dosahovat stále detailnějšího zobrazení. Například ještě v polovině devadesátých let, kdy se v hl. m. Praze začalo provádět pravidelné snímkování, bylo rozlišení 40 cm. Od roku 2007 jsou pořizovány snímky s rozměrem jednoho pixelu pouhých 10 cm. (Geoportál 2011)

Nevýhodou leteckého snímkování je jeho vyšší finanční náročnost, náročnost na zdroje, nutnost snímkování opětovně organizovat, provádět. A tak zatímco družice se nad vybranou lokalitu vracejí periodicky v řádu dnů, i největší město v České republice, hl. m. Praha si teprve od roku 2007 může dovolit jednou za rok provést snímkování celého svého území.

Multispektrální snímky vhodné pro rozpoznání městské zeleně vznikly dokonce jen jednou, v roce 1996. (Geoeye 2011, Geoportál 2011)



Obrázek 1: Letecký snímek části hl. m. Prahy ve velmi vysokém rozlišení. (Zdroj dat: Útvar rozvoje hl. m. Prahy)

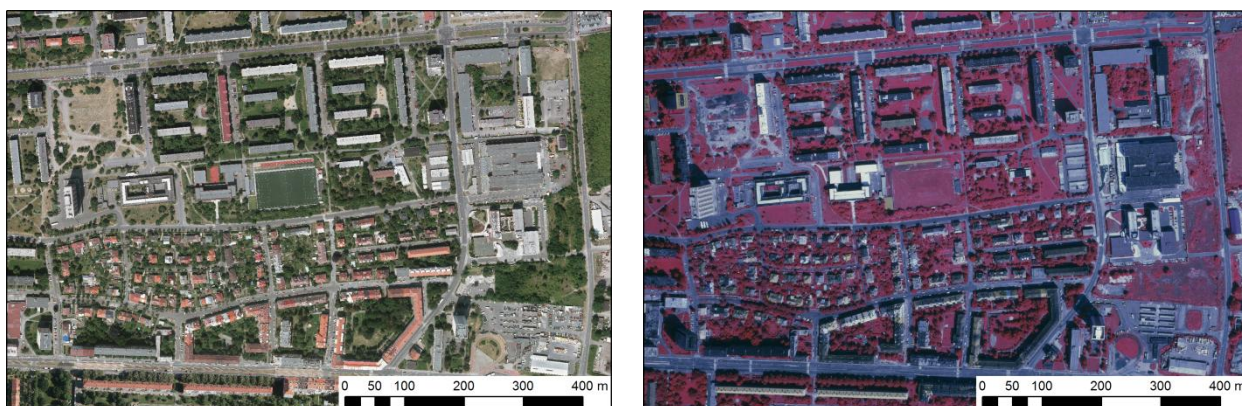
3.2. Ruční vymezení

Nejstarší metodou pro vymezení jakýchkoli objektů zájmu a tedy i zeleně, bylo prosté zakreslení do fotografií na základě jejich rozpoznání pozorovatelem. Výpočet plochy území pak probíhal na základě znalosti parametrů fotografického přístroje a značek na zemském povrchu. S nástupem automatizovaných metod identifikace a především digitální fotografie se tradiční metody ocitly na ústupu. Uplatnění mohou dnes nalézt především při zpracování menších prostorů, kde by správná kalibrace a nastavení rozpoznávacích algoritmů zabrala mnohem více času než ruční vyznačení. Se současnou kvalitou leteckých snímků lze navíc dosáhnout i velmi vysoké přesnosti. (Brilis 2000)

3.3. Vegetační indexy

Vegetační indexy jsou empirické míry, které popisují výskyt (ale i stav) vegetace v jednotlivých pixelech snímku. Jsou založeny na principu transformace minimálně dvojice spektrálních pásem (Obrázek 2). Tato dvojice musí být vybrána vhodným způsobem tak, aby podstatně zvýraznila rozdíly v chování vegetace v jednotlivých částech spektra, konkrétně

nízkou odrazivost ve viditelné části spektra (především červené) a oproti ní relativně vysokou odrazivost v části blízkého infračerveného spektra. (Jordan 1969)



Obrázek 2: Snímek pořízený ve viditelné části spektra (vlevo) a infračervené (vpravo). (Zdroj dat: Útvar rozvoje hl. m. Prahy)

Za pomoci aritmetických operací s pásmy multispektrálních snímků se vyjádří vztah mezi odrazivostí v červené části viditelného spektra (600 – 700 nm) a oblasti blízkého infračerveného spektra (700 – 900 nm). Ten je velmi citlivý k přítomnosti a množství vegetace v daném místě. Nízká odrazivost ve viditelné části spektra je způsobená vysokou absorpcí záření fotosyntetickými pigmenty. Nejintenzivnější absorpce probíhá v modré a červené části viditelného spektra, nejmenší pak v části zelené, což je důvod, proč se vegetace jeví jako zelená. V blízkém infračerveném spektru následuje prudký nárůst odrazivosti, který je adaptací vegetace proti přílišnému zahřívání.

Množství záření, které se odráží od vegetace a je zaznamenáváno, závisí kromě její přítomnosti či nepřítomnosti, hustoty, struktury, také na intenzitě slunečního záření, podmínkách, jež panují v atmosféře a také kalibraci daného senzoru. Nastavení parametrů rozpoznávacích metod tak nelze univerzálně přenášet a musíme je individuálně přizpůsobovat snímkům z každého jednotlivého zdroje. (Van De Voorde 2008)

První vegetační index byl použit již v roce 1969 a od té doby bylo definováno dalších více než 40 dalších indexů. (Bannari 1995)

3.3.1 RVI (Ratio Vegetation Index), SR (Simple Ratio)

Ratio vegetation index je jednoduchý vegetační index, první svého druhu. (JORDAN 1969) Vyjadřuje poměr mezi množstvím odraženého záření v blízkém infračerveném spektru (ρ_{NIR}) a červené části viditelného spektra (ρ_{red}). Může nabývat hodnot od 0 teoreticky až do nekonečna, kde hodnoty blízké nule reprezentují povrchy bez přítomnosti vegetace a vyšší hodnoty povrchy s vegetací.

$$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}}$$

Kromě této nejjednodušší varianty existují i další složitější varianty, přizpůsobené požadavkům specifickým účelům. (Brown 2000)

3.3.2 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Normalized Difference Vegetation Index je v dnešní době velmi hojně používán. Využívá odrazivost v červené viditelné části spektra s vlnovými délkami kolem 660 nm a v blízké infračervené části spektra s vlnovými délkami kolem 860 nm. V oblasti červené viditelné se nachází absorpční oblast: záření je pohlcováno chlorofylem. V oblasti blízké infračervené vegetace záření odráží.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

Index může nabývat hodnot od -1 do +1, kde hodnoty přibližující se k +1 zastupují hustou vegetaci a povrch s alespoň řídkým pokryvem vegetace by rozhodně neměl vykazovat hodnoty nižší než 0. (Honková 2008)

Tabulka 1: Hodnoty NDVI pro různé druhy povrchů (Dobrovolný 1998), senzor AVHRR

Povrch	NDVI
Velmi hustá vegetace	0,500
Středně hustá vegetace	0,140
Řídká vegetace	0,090
Holá půda	0,025
Oblačnost	0,002
Sníh a led	-0,046
Voda	-0,257

Pro vizualizaci NDVI je vhodné vzorec upravit. Z upraveného vzorce lze pak získat škálu pixelů v tónech šedi, popřípadě barevné kompozici (Obrázek 3). (Honková 2008)

$$SCALE\ NDVI = 100 - (NDVI + 1)$$

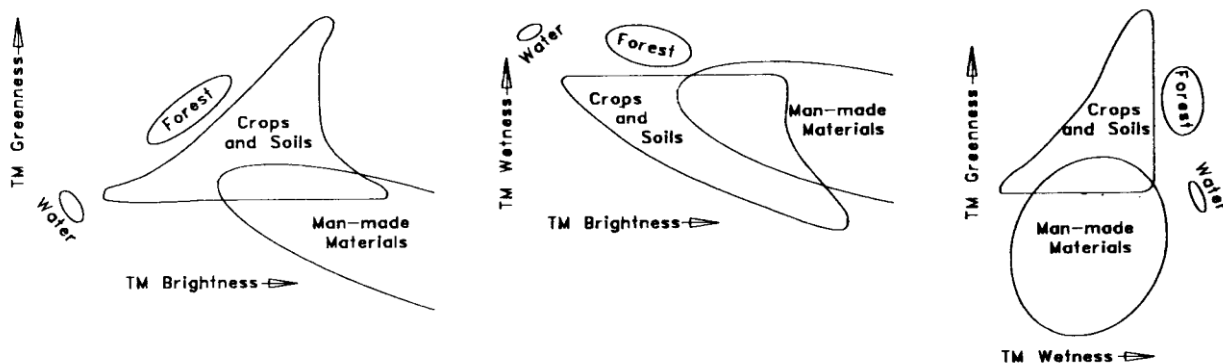


Obrázek 3: Snímek se škálou získanou z NDVI.
(Zdroj: http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/opt_int.htm)

3.3.3 Tasseled Cap

Tasseled Cap patří do skupiny ortogonálních indexů. Na rozdíl od předchozích indexů poměrových. Získaná data ze spektrálních pásem transformuje do nových a teprve ta zvýrazňují požadované vlastnosti povrchu. Jejich počet a vlastnosti pak závisí na počtu vstupních pásem.

Z družice Landsat se například získávají tři důležitá pásma. TC 1 neboli „Brightness“ – ve směru stoupající odrazivosti, na té se podílí především holé povrchy. TC 2 neboli „Greenness“, kde nejvyšší hodnoty reprezentují povrchy s hustým vegetačním krytem. Toto pásmo se velmi podobá výsledkům při použití NDVI. A poslední TC 3 neboli „Wetness“, jehož hodnoty odpovídají vlhkosti povrchu. Kombinací jednotlivých pásem a jejich vnesením do příznakového prostoru pak získáváme charakteristiku rozpoznávaných tříd - v našem případě zeleně (Obrázek 4). (Dobrovolný 1998)



Obrázek 4: Příznakový prostor Tasseled Cap pásem.

(Zdroj: <http://ciesin.org/docs/005-419/fig3.gif>)

3.3.4 Další vegetační indexy

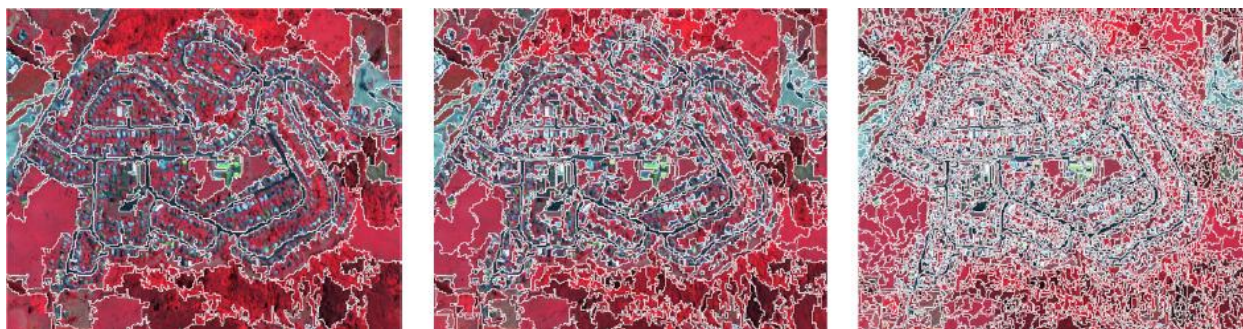
Kromě výše popsaných indexů existuje nepřehledné množství dalších, upravených pro specifické využití, či přímo pro jednotlivé senzory. Jako příklad může posloužit index SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), který se snaží o minimalizaci vlivu půdy, na druhé straně je však velmi citlivý na atmosférické podmínky nebo Infrared index, který vhodný pro pozorování změny biomasy zeleně. (Dobrovolný 1998)

3.4. Objektová klasifikace

Objektová klasifikace je způsob rozpoznávání založený na zcela jiném principu než vegetační indexy. Ty vyhodnocují každý pixel zvlášť na základě spektrálních informací, které mají k dispozici. Přístup objektové klasifikace je spíše podobný tomu, jak prostor vnímá člověk. Její provedení zahrnuje dva kroky: segmentace snímku a klasifikaci získaných objektů.

Segmentace snímek rozděluje na skupiny sousedících pixelů, nazývaných objekty tak, aby vznikaly rozumné skupiny, např.: silnice, domy, vodní plochy, stromy. To znamená, že základní jednotkou objektové klasifikace jsou právě objekty, ne jednotlivé pixely jako při užití vegetačních indexů. Dělení a spojování částí snímku je řízeno pomocí podobnosti nebo rozdílnosti jednoho či více parametrů. Mezi tyto parametry patří spektrální variabilita, tvar, struktura, velikost, ale i mnoho dalších, které je možno získat z digitálních map, například sklon povrchu, vlastnosti půdy. Ovlivnit klasifikaci mohou rovněž vztahy mezi objekty samotnými, jejich vzdálenost a sousedění. (Mathieu 2007)

Mathieu (2007) ve své práci, týkající se rozpoznávání soukromých zahrad, aplikoval tento přístup za použití softwaru eCognition. Ten začíná rozpoznáváním jednotlivých pixelů a v dlouhé řadě kroků je porovnává s okolními pixely a následně spojuje do větších objektů. Výsledné objekty jsou kontrolovány na základě velikosti či jejich vnitřní heterogenity, která nesmí přesáhnout požadovanou mez v rámci jednoho objektu (Obrázek 5).



Obrázek 5: Segmentace snímku při použití rozdílných parametrů maximální velikosti a heterogenity. (Zdroj: Mathieu 2007)

Tímto přístupem dosáhl přesnosti vymezení zahrad 90,7%. Podrobnějším dělením pak zahrady členil do tří skupin podle podílu plochy, kterou pokrývají koruny stromů (méně než 30%, 30-70%, 70% a více). Praktické využití znalosti pokrývnosti stromů nachází využití při odhadech množství produkovaného odpadu ze zeleně. Oproti celkovému vymezení bylo podrobnější dělení mnohem méně spolehlivé. Úspěšnost se pohybovala mezi 50 až 70%. Limitujícím faktorem se zde ukázalo rozlišení použitých družicových a leteckých snímků. V okamžiku, kdy se rozměr objektu nedosahoval velikosti ani 3x3 pixely, chyba určování rychle narůstala.

4. Odhad množství

V okamžiku, kdy jsou úspěšně zmapovány plochy zeleně, nastupuje další stupeň zajišťování dat pro samotnou realizaci svozu a tím je odhad produkce biomasy na jednotlivých lokalitách. Rozdílné množství bude zajisté pocházet z travnatého porostu a z lesa. Stejně tak se bude lišit i četnost svozu. Jiná bude zapotřebí u zahrady, kterou její majitel pravidelně seče každý týden a například listnatým stromem, jehož opad je zapotřebí odvézt jednou ročně. Dále je zapotřebí vyřadit území, které nejsou obhospodařována.

4.1 Zastoupení zeleně v komunálním odpadu

Nejdůležitější odlišností odpadu ze zeleně oproti jiným složkám komunálního odpadu je závislost jeho produkce nejenom na počtu obyvatel, ale především na charakteru zástavby. Zcela odlišné hodnoty produkce vykazuje vícepodlažní bytový dům, na jehož pozemku se nachází minimum zeleně, a na druhé straně zástavba z rodinných domků, kde nezastavěná zelená plocha tvoří často jeho většinu. Konkrétní případ z hl. m. Prahy popisuje ve své práci Hanč et al. (2011). V zástavbě bytových domů (zde se jednalo o sídliště Řepy) byla roční produkce odpadu změřena zhruba na sotva 10 kg na osobu a rok. V rodinných domech (městská část Dolní Chabry) naproti tomu přesáhla hranici 100 kg na osobu, což také odpovídalo asi 1 kg na m² a rok.

Zatímco celková produkce komunálního odpadu je v průběhu roku poměrně stabilní, odpad ze zeleně podléhá běhu ročních období a jeho množství se v průběhu roku výrazně mění. (Den Boer 2010) V podmínkách České republiky byla stejná změna pozorován například ve městě Brně. (Hřebíček 2010) Tato variabilita, stejně jako celkové množství, je nižší u bytových než u rodinných domů. Stejně tak se během roku výrazně mění zastoupení jednotlivých složek; trávy, květin, dřeva, listů (myšleno stromů) a půdy. Velmi dobře patrný je tento trend u rodinných domů. Na jaře tvoří většinu tráva a půda (dohromady asi 70%), v létě jednoznačně dominuje samotná tráva (téměř 70%), na podzim pak listy z opadavých stromů (přes 70%) a v zimě, kdy je podíl zeleně na celkovém bioodpadu obecně nejnižší, převládá dřevo a doznívá listnatý opad. (Hanč 2011)

Dalším problematickým faktorem pro odhad produkovaného odpadu je individuální přístup domácností k tomuto problému. Čtyřlenná domácnost žijící v rodinném domě může sice vyprodukovat přes 400kg odpadu ze zeleně za rok, ale drtivou většinu je také schopna sama zpracovat (kompostovat). Množství, které nakonec skončí v odpadu tak může klesnout i na 10kg (tedy 2,5kg na osobu), což je dokonce čtyřikrát méně než hodnoty udávané pro bytové domy. (Altmann 2011) Čísla z praxe dokládající tento problém můžeme vidět na příkladu města Slavkov u Brna. V typově velmi podobné zástavbě jako ve své studii prezentuje Hanč et al. (2011) dosáhl sběr od obyvatel v roce 2009 401,4 tun. Při počtu obyvatel 6324 (k 1.1.2010) to znamená jen asi 63 kg na osobu. (TS Slavkov 2009, MVČR 2011)

4.2 Měření vlastní zeleně

Kromě nepřímých metod, kdy množství vyprodukované biomasy počítáme z množství odpadu, existují i metody, které měří přímo produkci jednotlivého stromu, keře, trávníku. Jejich užití se nabízí v případech, kdy provozovatel či objednatel svozu je zároveň vlastníkem a tím, kdo se o dané lokality stará.

4.2.1 Stromy

Zjišťování produkce biomasy jednotlivých stromů je velmi náročná a nákladná práce. Grote (2002) ve své práci popisuje postup vybírání vzorků větví, jejich fyzické zpracování a vyhodnocování dat několika statistickými metodami. Ve výsledku se ukázalo, že v závislosti na použité statické metody mohou být výsledné odhady hmotnosti listů a větví velmi rozdílné. Navíc variabilita mezi jednotlivými jedinci téhož druhu stromu byla natolik velká, že nebylo možné z výsledků odvodit spolehlivý návod pro výpočet biomasy ostatních stromů.

Temesgen (2011) taktéž zmiňuje nepřiměřenou náročnost ručního měření množství biomasy korun stromů. Pro překonání těchto překážek popisuje metody výpočtu z jiných, snadněji měřitelných vlastností stromu, například průměr kmenu v různých výškách, poměr výšky koruny k výšce celého stromu, výška kmenu k začátku koruny nebo propustnosti koruny stromu pro sluneční záření.

Oba však docházejí k závěru, že tyto přístupy jsou zatíženy velkou chybou způsobenou rozdílností druhů, samotných jedinců, věkem, či počtem větví jednotlivých stromů. (Temesgen 2011)

4.2.2 Travní porosty

Na odhad produkce travních porostů neexistuje jednoduchý způsob. I na relativně (v geografickém měřítku) malých prostorech se vyskytují plochy s diametrálně odlišnou produkcí, jak dokumentuje ve své práci Golubiewski (2006). V té popsala na urbanizovaných územích v Coloradu, USA trávníky s produkcí od 80 až do 1228 g.m⁻².rok⁻¹. Průměrná produkce pak byla 445 g.m⁻².rok⁻¹.

Nám bližší je bezesporu výzkum, který probíhal na třech lokalitách v České republice. I zde byly získané hodnoty značně variabilní, v závislosti na zvoleném stanovišti, a to od 644 až do 722 g.m⁻².rok⁻¹ v roce 2007. V následujícím roce rozdíly mezi stanovišti vzrostly, ale stejně

velká byla i variabilita na jednotlivých lokalitách. Zatímco v roce 2007 byl maximální rozdíl mezi všemi stanovišti $78 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$, tak v roce 2008 byl jen na jednom stanovišti rozdíl oproti loňskému roku i $121 \text{ g.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$. (Agrostis 2008)

5. Plánování svozu

Poslední krokem, který je nutno provést, než dojde k samotnému zpracování odpadu ze zeleně, je jeho svoz do zpracovatelského zařízení. Touto problematikou se zabývá řada vědeckých prací, protože až na malé detaily se metodika pro svoz jednotlivých druhů odpadů neliší, ať se již jedná o odpad komunální či různé složky separovaného odpadu. Při řešení se tak lze opřít o širokou škálu dosavadních poznatků.

Přes tuto podobnost vykazuje odpad z městské zeleně některé specifické vlastnosti, které je zapotřebí zahrnout do přípravy modelů svozu. První z nich představuje významné kolísání jeho množství v průběhu roku. Ani jiné druhy odpadů nevykazují v průběhu roku dokonale rovnoměrné rozložení produkce, ale množství dopadu z městské zeleně se může lišit i několikanásobně (Hanč 2011). Proto bude v případě řešení problematiky konkrétního území zapotřebí pro jednotlivé části roku spočítat vlastní modely. Druhou odlišností, která ve svém důsledku rozdělí modelování na dva samostatné projekty, je ostrá hranice mezi formou správy soukromníky a obcí. Jak vyplývá i z praxe, většina občanů se o své zahrady stará o víkendy a tedy nejrozumnější je provádět svoz vždy na začátku pracovního týdne. (TS Slavkov 2009) Oproti tomu plochy spravované obcí jsou upravovány v mnohem delším intervalu a s ní by měl být svoz koordinován.

5.1. Přehled modelů zabývajících se svozem odpadu

Pokusy o zvyšování efektivity svozu jsou již poměrně staré. V dřívější době byly motivovány ekonomickými faktory, především snahou o minimalizaci nákladů. Později se začal objevovat také důraz na ochranu životního prostředí. Stále se zvětšující množství produkovaných odpadů podmiňuje zvyšování intenzity svozu, s tím je spojena stavba nových zpracovatelských zařízení. Takto složitý systém si žádá sofistikované metody přístupu a hledání optimalizací, které mohou ušetřit velké množství prostředků. (Shmelev 2006)

Tabulka 2: Přehled v současnosti nejčastěji používaných modelů. (Zdroj: Shmelev 2006)

Metoda	Výhody	Slabiny
LCI / LCA ¹	hodnotí široké spektrum emisí	pouze inventář emisí, nehodnotí dopad na příjemce
	umožňuje kombinování environmentálních a ekonomických dat	nepracuje s časovým a prostorovým rozměrem
	umožňuje jednoduché porovnání různých variant	neumožňuje provést lokální / regionální / globální srovnání
MCDA ²	umožňuje porovnání scénářů ve více kritériích	problematické hodnocení důležitosti jednotlivých kritérií
	flexibilita při výběru kritérií	nalezení efektivního řešení je omezeno
	umožňuje použití jak kvantitativních, tak kvalitativních dat	porovnáváním pouze malého množství alternativ
Optimalizace	poskytuje nejlepší řešení z dostupných variant	možnost řešení nelineárních celočíselných problémů je limitována použitými algoritmy
	zapojuje programování do automatizace řešení problémů	
	dovoluje nastavit limity pro vyhovující řešení	je nutné předpovídat určitě vztahy v modelu
GIS ³	reflektuje geografické informace (např. tocích a plochách)	nepracuje s časovým rozměrem
	dovoluje analýzy na základě překrývání různých informací	vyžaduje zapojení dalších technik pro srovnání variant
		množství informací je příliš velké pro jednoduché rozhodování

¹ LCI / LCA – life cycle inventory / assessment – posuzování životního cyklu

² MCDA - multi-criteria decision analysis – multikriteriální analýza

³ GIS - geographic information systém – geografický informační systém

5.2. Modely založené na využití GIS

Ghose (2006) ve své práci za použití vstupních dat jakými jsou hustota osídlení částí města, množství produkovaného odpadu a šířka (průjezdnost) silnic nejprve rozmisťuje sběrné nádoby. Podle výše uvedených parametrů vybírá ze třech odlišných velikostí tak, aby s dostatečnou rezervou kapacity respektoval produkci odpadu v dané lokalitě a maximální donáškovou vzdálenost. Výpočet trasy svozu probíhá na základě posouzení její délky a nákladů.

Zabývá se využitím různých vozidel, podle průjezdnosti silnic, tak aby jejich kapacita odpovídala kategorii sběrného nádoby.

ArcGIS využil úspěšně Zamorano (2009) v případové studii řešení svozu odpadu ve španělském městě Churriana de la Vega. V prvním kroku provedl mapování a podrobnou charakteristiku silniční sítě. Každá silnice měla přiřazeny parametry jako šířka, sklon, počet obyvatel, které obsluhuje či směr průjezdnosti.



Obrázek 6: Vizualizace uličních úseků v programu ESRI ArcGIS. (Zdroj dat: Útvar rozvoje hl. m. Prahy)

Pomocí funkce Service Area (vytyčuje polygony reprezentující vzdálenost, kterou lze obsloužit z výchozího bodu, v tomto případě od sběrné nádoby, za určitý čas či s maximální uraženou vzdáleností) vytvořil ideální rozmístění sběrných nádob. Za využití funkce New Route (hledá nejvýhodnější trasu pro objetí všech definovaných zastávek, a to na základě její délky nebo času. Přitom respektuje omezení daná průjezdností používané silniční sítě a umožňuje i změnu pořadí zastávek pro dosažení co nejlepších výsledků) pak hledal optimální trasu svozu, která povede ke snížení času stráveného na cestě a nákladů. Na základě této metody se mu podařilo snížit množství potřebných nádob, aniž by donášková vzdálenost přesáhla požadovaných 75 m. Stejně tak se mu podařilo zkrátit délku trasy svozových vozidel o 40,6%.

Bautista (2006) se zabývá vytvořením vlastních algoritmů založených na GIS a operačním výzkumu pro optimální umístování sběrných nádob na separovaný odpad. Jedná se mu o hledání rovnováhy mezi donáškovou vzdáleností, která podstatně ovlivňuje ochotu lidí třídít na jedné straně a na straně druhé negativními vlivy, které s sebou přináší hustota sběrných míst přináší – obtěžování obyvatel okolí hlukem při svozu, vyprazdňování sběrných nádob, negativní vliv na vzhled místa a vysoké náklady na organizaci svozu.

6. Zpracování zeleně

Logickým a doopravdy také ve většině případů využívaným prostředkem pro zpracování zeleně je kompostování. Správný průběh kompostování závisí na mnoha parametrech. Z nich vstupující zeď ovlivňuje obsah ligninu a těžkých kovů, což obojí může způsobovat problémy.

Lignin je vysokomolekulární látka, které ztěžuje proces kompostování svojí špatnou biologickou rozložitelností. Jako neúčinnější v této oblasti se ukazují některé mikroskopické vláknité houby. Jejich nevýhodou je skutečnost, že nepřežijí vysoké teploty v průběhu kompostování. Mezi další mikroorganismy schopné rozkládat lignin, patří aktinomycety a bakterie, jejichž účinnost je však velmi malá. Z opakovaných pokusů vyplynulo, že už malý nárůst obsahu ligninu ve výchozím materiálu má velký vliv na celkové zpracování. Při pětiprocentním obsahu ligninu ve vzorku byla jeho celková rozložitelnost více než 90%, při zdvojnásobení na cca 10% klesla už na 75% a při 20% obsahu nedosahovala ani 60%. (Vikman 2002)

Z těchto důvodů je důležité upravovat podíl ligninu ve zpracovávané zeleni a vhodně ho kombinovat se snáze rozložitelnými komponentami jako je travní hmota či listový opad.

Druhým problémem, který se může vyskytnout při kompostování zeleně, je nadměrný obsah těžkých kovů. Jejich množství ovlivňuje především vzdálenost od frekventovaných komunikací. Benešová (200b) uvádí vysoký obsah manganu a olova (Tabulka 3). Jiní autoři přidávají enormně zvýšené hodnoty dalších kovů: hliník, měď, zinek, kadmium, chrom, nikl, ale i ostatních problematických prvků: arzen, stroncium, bariem. (Simon 2011, Piczak 2003)

Tabulka 3: Obsah Pb v sušině silniční zeleně, rok 2008. (Zdroj: Benešová 2009)

Typ komunikace	Obsah Pb (mg/kg)
Dálnice	550
Silnice 1. třídy	492
Silnice 2. třídy	368
Silnice 3. třídy	320
Místní komunikace	190

Problematičnost takto vysokého obsahu těžkých kovů spočívá v tom, že zpomalují či narušují správný průběh rozkladu a vzniku kompostu. Na druhou stranu se v průběhu procesu kompostování snižuje jejich biologická dostupnost ze vznikající půdy, což je nesmírně důležité při dalším využívání tohoto produktu. (Smith 2009)

7. Diskuze

Techniky dálkového průzkumu Země dospěly do takového stádia, že nám umožňují zmapovat a katalogizovat podle způsobu využití i ty nejmenší plochy zeleně. Na základě hodnot získaných terénním šetřením, rozбором komunálního odpadu a především jejich dalším upřesňováním plynoucím z již provozovaných systémů, protože v odhadech se často vyskytuje značná nejistota, jsme schopni získat poměrně spolehlivé vstupní hodnoty pro modelování svozu odpadu. Zároveň z rozborů získané zeleně je možno vymezit potenciálně rizikové oblasti, co se týče problematických obsahových látek. Samotné modelování svozu je oblast velmi obšírně studovaná, která poskytuje efektivní metody pro optimalizaci tras i umístování sběrných nádob.

Náročnost celého systému je zřejmě důvodem, proč se zatím takovéto řešení neprosazuje a v praxi je spoléháno spíše na operativní řešení. Jako příklad poslouží město Slavkov u Brna, kde i v relativně malé oblasti představuje optimální naplánování svozu ten největší problém. Na druhém konci, co se velikosti týká, se nachází hl. m. Praha. Ani zde nakládání s odpadem ze zeleně nefunguje ideálně. Možností jak se ho zdarma zbavit je pouze poskrovnu - několik sběrných dvorů, velkoobjemové kontejnery, jenž jsou však přistavovány pouze na dobu v řádu hodin. Možnost za poplatek pronajmout kompostejner pro pravidelný svoz bioodpadu představuje další nekonceptnost, protože svozové vozy jsou nuceny jezdit dlouhé zajižďky k osamoceným místům sběru i pro malé množství odpadu.

8. Závěr

Problematika nakládání s odpadem z městské zeleně představuje ve své podstatě celou řadu dílčích problémů, jejichž úspěšné řešení je nezbytné ke správnému fungování celého systému. Pro jejich řešení jsou naštěstí k dispozici velmi silné nástroje.

Tato práce poskytla jejich přehled a zhodnocení použitelnosti, které se může stát základem pro navazující diplomovou práci. Ta by se zabývala jejich praktickou aplikací na vybrané území, řešením místních specifik s cílem sestavit funkční systém nakládání s odpadem z městské zeleně.

9. Přehled citované literatury

9.1. Články a publikace:

BAUTISTA, J., PEREIRA, J. (2006): Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona, *Omega*, vol. 34, 617 - 629

BANNARI, A., et al. (1995): A review of vegetation indices, *Remote Sensing Review*, vol. 13, 95-120

BRILIS, G. M., GERLACH, C. L., VAN WAASBERGEN, R. J. (2000): Remote Sensing Tools Assist in Environmental Forensics. Part I: Traditional Methods, *Journal of Environmental Forensics*, vol. 1, 63-67

BROWN, L., et al.(2000): A Shortwave Infrared Modification to the Simple Ratio for LAI Retrieval in Boreal Forests: An Image and Model Analysis, *Remote Sensing of Environment*, vol. 71, 16-25

DEN BOER, E., et al. (2010): A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland, *Waste Management* 30, 369–377

DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu, Masarykova univerzita v Brně, Brno

GHOSE M., K., DIKSHIT, A. K., SHARMA S. K. (2006): A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality, *Waste Management*, vol. 26, 1287-1293

GOLUBIEWSKI, N. E. (2006): Urbanization Increases Grassland Carbon Pools: Effects Of Landscaping In Colorado's Front Range, *Ecological Applications*, vol. 16, 555–571

GROTE, R. (2002): Foliage and Branch Biomass Estimation of Coniferous and Deciduous Tree Species, *Silva Fennica*, vol. 36, 779-788

HONKOVÁ, M. (2008): Mapování vegetace s využitím spektrálních indexů, diplomová práce, Masarykova univerzita v Brně

HANČ, A., NOVÁK, P., DVOŘÁK, M., HABART, J., ŠVEHLA, P. (2011): Composition and parameters of household bio-waste in four season. Czech university of Life Science, Praha. In press.

JORDAN, C. F. (1969): Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, *Ecology*, vol. 50, 663-666

KANTKOVÁ, D. (2009): Preference a požadavky obyvatel města na vzhled městské zeleně, bakalářská práce, Masarykova univerzita v Brně

MATHIEU, R., FREEMAN, C., ARYAL, J. (2007): Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery, *Landscape and Urban Planning* 81, 179 – 192

PICZAK, K., et al. (2003): Metal Concentrations In Deciduous Tree Leaves From Urban Areas In Poland, *Environmental Monitoring And Assessment*, vol. 86, 273-287

ROHDE, C.L.E., KENDLE, A.D. (1994): Human well-being, natural landscapes and wildlife in urban areas : a review, Peterborough, English Nature, 181 s., ISBN 1-85716-155-6

SHMELEV, S. E., POWELL, J. R. (2006): Ecological–economic modelling for strategic regional waste management systems, *Ecological Economics*, vol. 59, 115-130

SIMON, E., et al. (2011): Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna, *Environmental Pollution* 159, 1229 - 1233

SMALL, C. (2001): Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, 1305 – 1334

SMITH, S.R. (2009): A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge, *Environment International*, vol.35, 142-156

SPIRN, A. W. (1984): *The Granite Garden : Urban Nature and Human Design*, New York, Basic Books, 334 s., ISBN 0-465-02706-7

SUPUKA, J., et al. (1991): *Ekologické principy tvorby a ochrany zelene*. Bratislava, Veda, 308 s., ISBN 80-224-0128-5

TEMESGEN, H. et al. (2011): Sampling Strategies for Efficient Estimation of Tree Foliage Biomass, *Forest Science*, vol. 57, 153-163

VAN DE VOORDE, T., VLAEMINCK, J., CANTERS, F. (2008): Comparing Different Approaches for Mapping Urban Vegetation Cover from Landsat ETM+ Data: A Case Study on Brussels, *Sensors*, vol. 8, 3880-3902

VIKMAN, M., et al. (2002): The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions, *Applied Microbiology And Biotechnology*, vol. 59, 591-598

ZAMORANO M., et al. (2009): A planning scenario for the application of geographical information systems in municipal waste collection: A case of Churriana de la Vega (Granada, Spain), *Resources Conservation And Recycling*, vol. 54, 123-133

9.2. Internetové zdroje:

AGROSTIS (2008): Racionální postupy při zakládání a ošetřování neproduktivních travnatých ploch v kulturní krajině, cit. 1.8.2011, dostupné z <http://www.agrostis.cz/?pg=vyzkum-projekt-1>

ALTMANN, V. (2011): Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, cit. 25.7.2011, dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>

BENEŠOVÁ, L., KOTOULOVÁ, Z. (2009): Skladba komunálního odpadu v ČR, cit. 25.7.2011, dostupné z http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008005001/1_a1benesova.pdf

GEOEYE (2011): Image sources, cit. 29.7.2011, dostupné z <http://www.geoeye.com/CorpSite/products-and-services/imagery-sources/>

GOEPORTÁL (2011): Ortofotomapy, cit. 29.7.2011, dostupné z <http://geoportal.praha.eu/cs/clanek/14/ortofotomapy>

HŘEBÍČEK, J., PILIAR, F., KALINA J., (2010): Nakládání s BRKO ve městě Brně, Konference Biologicky rozložitelné odpady, Mendelova univerzita v Brně, dostupné z http://www.isno.cz/media/files/2620ce7c15448e56cbc0f1f715e54352/isno/zera_prezentace.pdf

MINISTERSTVO VNITRA ČESKÉ REPUBLIKY (2011): Počty obyvatel v obcích, cit. 29.7.2011, dostupné z <http://www.mvcr.cz/clanek/pocty-obyvatel-v-obcich.aspx>

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2009): MŽP umožní dotovat stavbu spaloven, cit. 25.5.2011, dostupné z http://www.mzp.cz/cz/articles_ekolist090323spalovny

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ (2011): Biologicky rozložitelné odpady, cit. 25.5.2011, dostupné z http://mzp.cz/cz/biologicky_rozlozitelne_odpady

NASA (2011): The Landsat Program, cit. 29.7.2011, dostupné z <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

TS SLAVKOV (2009): Slavkov si poradil s bioodpadem, cit. 29.7.2011, dostupné z <http://www.tsslavkov.cz/KompostarnaReference.aspx>