

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO
PLÁNOVÁNÍ



PROSTOROVÉ ANALÝZY UŽÍVANÉ PŘI VÝZKUMECH
V EKOLOGII SAVCŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Petra ŠÍMOVÁ, Ph.D.

BAKALANT: Markéta NEDBÁLKOVÁ

2010



Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra: aplikované geoinformatiky a územního plánování

Fakulta životního prostředí

Školní rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: Markétu Nedbálkovou

obor: Aplikovaná ekologie

Název tématu: Prostorové analýzy užívané při výzkumech ekologie savců

Název tématu v anglickém jazyce: Spatial analyses used in the mammals' ecology research

Zásady pro vypracování:

Bakalářská práce bude mít charakter literární rešerše, zaměřené na vytvoření přehledu analýz prostorových dat, používaných v současných výzkumech ekologie savců (popř. vybraných savčích taxonů). Kromě analytických metod budou popsány i způsoby sběru a lokalizace terénních dat. Autorka bude čerpat především z moderní literatury s tematikou GIS a GIT a vědeckých periodik (popř. výzkumných zpráv, diplomových a disertačních prací apod.) z oblasti ekologie. Dle možností (dostupnost vstupních dat apod.) může být práce doplněna experimentální částí, ve které autorka vybrané metody použije a zhodnotí jejich přínosy a úskalí.



Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 – 60 stran

Seznam odborné literatury:

- RAPANT, P. 2006: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠB - TU, Ostrava, 2006, 513 s. ISBN 80-248-1264-9.
- SHEKAR S., XIONG, H. (Eds.) 2008: Encyklopedia of GIS. Springer, 1377 pp. ISBN: 978-0-387-30858-6.
- TUČEK, J. 1998: Geografické informační systémy, principy a praxe. Computer press, Praha 1998. 424 s. ISBN 80-7226-091-X.
- Dokumentace k systému ArcGIS
- Dokumentace k systému Janitor
- Odborné časopisy a www stránky, zejména zdroje na WebOfKnowledge

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: ---

Datum zadání bakalářské práce: květen 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2010

Vedoucí katedry



Děkan

V Praze dne 2.9.09

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Prostorové analýzy užívané při výzkumech v ekologii savců“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Petry Šímové, Ph.D. a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne 30.4.2010

.....

Poděkování

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mi byli nápomocní při psaní mé bakalářské práce, zejména pak vedoucí práce Ing. Petře Šímové, Ph.D. za její rady a trpělivost.

V Praze dne 30.4.2010

.....

Abstrakt

V této práci byl nejprve vytvořen všeobecný přehled analytických funkcí, jenž je možné uskutečnit v prostředí geografických informačních systémů. Následně byly popsány různé typy radiové telemetrie, která je v dnešní době hlavním nástrojem pro sběr dat o pohybu živočichů. Nakonec byl vytvořen přehled nejběžněji používaných prostorových analýz v ekologii savců, s odkazem na ArcGIS a jeho speciální programová rozšíření, umožňující tyto analýzy vykonat.

Klíčová slova: prostorové analýzy, GIS, telemetrie, ekologie, savci, domovský okrsek, nadstavby pro ArcGIS

Abstract

In the first part of this Bachelor thesis a general review of analytical operations, which may be realised in the GIS environment, has been created. Secondly, different types of radio telemetry, today the most important tool for collecting data about animal movement, have been described. Finally, most use spatial analyses in mammals' ecology have been described in relation to ArcGIS and its special program extensions making these analyses possible.

Keywords: spatial analyses, GIS, telemetry, ecology, mammals, home range, extensions for ArcGIS

OBSAH

ÚVOD	8
LITERÁRNÍ REŠERŠE	9
1 GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY	9
1.1 Prostorové objekty a prostorová data	9
1.2 Reprezentace prostorových dat	10
1.2.1 Vektorový datový model	10
1.2.2 Rastrový datový model	11
1.2.3 TIN	11
1.3 Definice a rozdělení prostorových analýz	12
1.3.1 Statistické prostorové analýzy	13
1.3.2 Analýzy modelů terénu	13
1.3.3 Analýzy obrazů	14
1.3.4 Měřicí funkce	15
1.3.5 Dotazy na databázi	15
1.3.6 Mapová algebra	17
1.3.7 Vzdálenostní analýzy	17
1.3.8 Analýzy sítí	18
2 EKOLOGIE	19
2.1 Metody sběru a lokalizace terénních dat	19
2.1.1 Telemetrie	20
2.1.2 Satelitní snímkování	25
2.2 Hlavní typy prostorových analýz v ekologii savců	26
2.2.1 Analýza domovského okrsku	26
2.2.2 Analýzy věrnosti	30
2.2.3 Analýza využití a vhodnosti stanoviště	30
2.2.4 Analýzy pohybu a znázornění migračních tras	31
2.3 Prostředí pro prostorové analýzy	32
2.3.1 Geospatial Modelling Environment (GME)	33
2.3.2 ArcView Animal Movement Analyst Extension (AMAE)	33
2.3.3 Animal Space Use 1.3	34
2.3.4 Home Range Extension a Home Range Tools	34
2.4 Příklady z praxe	35
DISKUZE	39
ZÁVĚR	40
LITERATURA:	41

ÚVOD

Jak už samotná definice geografických informačních systémů napovídá, GIS je systém určený kromě jiného pro analyzování dat. Analýz existuje nepřeberné množství a v dnešní době mají své uplatnění téměř v každém vědním oboru. Ekologie samozřejmě není výjimkou.

Podle Mollese (2008) je k pochopení ekologie nutné v první řadě porozumět faktorům ovlivňujících distribuci a početnost organismů na Zemi. Avšak jeden z důležitých faktorů – geografický – býval dříve často opomínán. GIS zachovává tyto zeměpisné informace a kombinuje je s dalšími faktory, čímž se stává hodnotným nástrojem používaným v ekologických výzkumech.

Z hlediska výzkumu savců geografické informační systémy umožňují studování jejich populací v prakticky jakémkoli měřítku (ESRI 2007). K dispozici jsou nástroje pro sledování pohybu jedinců i druhů, pro vytyčení jejich biokoridorů, migračních tras a domovských okrsků, či pro určení jejich vzájemného vztahu s jinými živočichy i s jejich prostředím.

Cílem této práce je nejprve shrnout základní typy analýz prováděných v rámci geografických informačních systémů. Dále popsat hlavní způsoby lokalizace a sběru terénních dat u savců. A nakonec vytvořit přehled základních prostorových analýz, které se využívají v dnešní době v ekologických výzkumech a které je možné zpracovat právě prostřednictvím GIS.

LITERÁRNÍ REŠERŠE

1 GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

GIS jako počítačově založený systém pro třídění, zpracování, ukládání, analyzování a zobrazování velkého objemu geografických dat (Molles 2008) asi není třeba představovat. V dnešní době je jistě v podvědomí mnoha lidí, avšak občas bývá milně považován za počítačové vytváření map, přestože jeho hlavním smyslem je možnost provádění nejrůznějších analýz.

Tato práce se zabývá především prostorovými analýzami, proto v této části budou nejprve definovány pojmy jako prostorové objekty a data, dále stručně uvedeny možnosti jejich zobrazení a nakonec vymezeny základní typy analýz vytvářených v prostředí geografických informačních systémů.

1.1 Prostorové objekty a prostorová data

Prostorové neboli geoobjekty jsou takové objekty, u kterých je možné lokalizovat jejich umístění v prostoru. Kromě jejich unikátní polohy jsou charakterizované geometrií, topologií, tematickými vlastnostmi (atributy) a dynamikou (Tuček 1998).

Geometrie a topologie definují vzájemné prostorové vztahy geoobjektů. Zatímco geometrie se týká takových vlastností, které se dají změřit s pomocí souřadnic (např. vzdálenost 2 bodů), topologické vlastnosti jsou založené na negeometrické informaci o objektech (Tuček 1998) a dávají geografickým informačním systémům schopnost určit prostorové vztahy, jako je konektivita (spojitost - connectivity), orientace (směr z – do, orientation), přilehlost (sousednost - adjacency), obsahování (containment) (Kavanagh 2009). Atributy jsou neprostorové informace, které většinou zastupují kvalitativní vlastnosti geoobjektu (např. typ využití půdy, pohlaví sledovaného živočicha, atd.). Dynamika charakterizuje vývoj objektů v čase.

Podle Tučka (1988) je pro definování prostorových vztahů mezi geoobjekty nezbytné nejprve zvolit souřadnicový systém, který umožní jednoznačné a změřitelné určení polohy pomocí definované metriky. Nejoblíbenějším a nejvíce používaným je dvojrozměrný $[x; y]$ a trojrozměrný $[x; y; z]$ karteziánský souřadnicový systém.

Horák (2002) uvádí, že většina běžně používaných informací se vztahuje k určitému místu, čili má prostorový charakter. Proto tyto informace nazýváme geoinformace a považujeme je za geometrický, topologický, tematický a dynamický popis geoobjektu (Tuček 1998). Jejich přepisem do formy vhodné pro počítačové zpracování (v podobě čísel a znaků) vytváříme prostorové údaje neboli geodata.

Jak již bylo řečeno, prostorová data se vztahují ke konkrétním místu v prostoru, které je přesně definované pomocí systému souřadnic. Proto je nezbytné provést vazbu dat k těmto místům (Rapant 2006). Tento proces se nazývá georeference a v ideálním případě jím geodata také získají souřadnice.

GIS dokážou zpracovávat a uchovávat obrovské množství různých typů dat. Data je možné získat z již existujících databází, digitalizací či naskenováním analogových podkladů (papírových map a plánů), z dálkového průzkumu Země či sběrem dat pomocí různých mapovacích technik včetně GPS (Kavanagh 2009).

Důležitou součástí všech geografických dat jsou metadata (neboli data o datech), které popisují různé charakteristiky dat (jejich identifikaci, kvalitu, souřadný systém, autora, atd..)

1.2 Reprezentace prostorových dat

Geografické informační systémy umožňují znázornění objektů a jevů reálného světa a modelování jejich vzájemných vztahů pomocí datových modelů (Rapant 2006). V podstatě se používají 3 hlavní datové modely – vektorový, rastrový a TIN.

1.2.1 Vektorový datový model

Vektorový datový model se používá ke znázornění diskretních prvků (Booth & Mitchell 2001, Kavanagh 2009), kde každý prvek je identifikovaný pomocí tzv. primárního klíče (svého identifikátoru) a má odděleně uloženou geometrickou a popisnou složku informace. Tyto složky jsou spojeny právě přes primární klíč (Rapant 2006).

Geometrické vlastnosti je možné popsat pomocí lineárních prvků – vektorů (orientovaných úseček definovaných souřadnicemi počátečního a koncového bodu). Z vektorů jsou skládány tři základní geometrické prvky: bod, linie a polygon (Rapant 2006). Bod (point) je vektor nulové délky a je to nejzákladnější jednotka prostorových dat, obsahuje informace o poloze (uspořádanou dvojici x, y souřadnic)

a další identifikační atribut. Linie (line či arc) je otevřená posloupnost vektorů, je určena souřadnicemi počátečního a koncového bodu a místy zakřivení. Kvantitativně je charakterizována délkou a směrem, může mít jeden a více popisných atributů. Polygon je vnitřní prostor vytvořený jednou či více uzavřenými liniemi. Polygony mohou být kvantitativně popsány plochou a obvodem (August & kol. in Wilson 1996).

Základní vektorové datové modely jsou špagetový a topologický (Tuček 1998, Rapant 2006).

Špagetový model se využívá hlavně pro zobrazování, protože neobsahuje topologické vztahy k ostatním geoprvkům. Proto neumožňuje provádění prostorových analýz.

Topologický model ukládá prostorové vztahy mezi objekty, což velice usnadňuje kontrolu konzistence a detekce chyb a také provádění některých analýz.

1.2.2 Rastrový datový model

Rastrový datový model se skládá ze sloupců a řádků nejčastěji čtvercových buněk (cells) které představují nejmenší, dále nedělitelnou prostorovou jednotku. Každá buňka má v sobě implicitně obsaženou informaci o lokalizaci (souřadnice) a attributech.

Rastrová data, jak uvádí Lim (in Shekar & Xiong 2008), je možné dělit do 2 kategorií – tematická data (buňky rastru zastupují nějakou změřitelnou veličinu či určitou kategorii, jako je např. nadmořská výška, typ využití půdy, hustota populace) a obrazová data (hodnoty buněk reprezentují odraženou či vyzářenou světelnou energii a tato data se získávají především ze satelitního snímkování zemského povrchu).

1.2.3 TIN

Booth & Mitchell (2001) a Jedlička (2007) ještě doplňují o model Nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN – Triangulated Irregular Network), který je na pomezí mezi rastrem a vektorem a je vhodný k reprezentaci a analýze povrchu. TIN reprezentuje povrch jako soubor trojúhelníků, které jsou definovány třemi body (s hodnotami x , y , z) umístěnými kdekoli v prostoru a pro tyto trojúhelníky uchovává topologické vztahy.

1.3 Definice a rozdělení prostorových analýz

Podle Tučka (1998) je základním cílem všech geověd prostorová analýza a prostorové modelování variability atributů geoobjektů.

Prostorovou analýzu můžeme definovat jako soubor technik pro modelování i analýzu lokalizovaných geoobjektů, přičemž výsledky těchto analýz jsou závislé na prostorovém uspořádání objektů i na jejich vlastnostech (Horák 2002). To znamená, že prostorové analýzy využívají jak geografickou lokalizaci objektů, tak i jejich atributová data.

Prostorové analýzy se zabývají uspořádáním prostorových dat, vyhledáváním nových vztahů mezi atributy i umístěním objektů ve studované oblasti, modelováním těchto vztahů za účelem jejich lepšího pochopení či předpovídání jejich budoucího vývoje (Horák 2002). Jejich cílem může být popis uspořádání objektů ve sledovaném prostoru, zjištění míry splnění určitých podmínek v území či pochopení vývoje území v čase.

Heining (2003) uvádí, že prostorová analýza má 3 hlavní složky. První zahrnuje kartografické modelování, protože každý datový soubor může být reprezentován ve formě mapy. Druhou složkou je matematické modelování, kde jsou výsledné modely závislé na formě prostorových interakcí mezi objekty či na geografickém umístění objektů v rámci modelu. Nakonec prostorová analýza zahrnuje výzkum a použití statistických technik pro náležité analýzy prostorových dat.

Rozdělení analytických funkcí GIS není jednotné a jednotliví autoři se ve způsobu dělení trochu odlišují. Pokud se budeme řídit podle Tučka (1998), je možné analytické funkce rozdělit následujícím způsobem:

1. Statistické analýzy
2. Analýzy týkající se modelů terénu
3. Analýzy obrazů (především z DPZ)
4. Měřicí funkce
5. Geografické analýzy – klíčová a nejkomplicovanější skupina
 - a. Nástroje na dotazování databáze – prostorové a atributové dotazy, vyhledávání, overlay funkce
 - b. Mapová algebra – analýzy rastrových reprezentací, kartografické modelování
 - c. Vzdálenostní analýzy – operátory, proximita a buffering, konektivní funkce
 - d. Analýza sítí

1.3.1 Statistické prostorové analýzy

Statistické prostorové analýzy neboli prostorová statistika zahrnují metody, které jsou založené na náhodné povaze vztahů a uspořádání (Horák 2002). Tyto metody mohou pracovat buď s jednou charakteristikou objektu (tzv. monovariační), nebo s více charakteristikami najednou (tzv. multivariační metody).

V rámci geografických informačních systémů se nejvíce používají hlavně popisné statistické metody, které slouží ke kvantitativním výpočtům charakteristik polohy a rozptylu (sumy, mediány, odchylky, maxima, minima, atd.). Dále je často vhodné reprezentovat data ve formě grafů, kartodiagramů, kartogramů a histogramů.

Horák (2002) ještě uvádí, že z hlediska statistického uspořádání geoprvků v prostoru je možné rozlišit 3 typy prostorové distribuce – shluková, pravidelná a náhodná. Vůči těmto 3 typům je možné testovat skutečné rozmístění geoprvků v prostoru (např. s jakou pravděpodobností je rozmístění náhodné či zda je shlukové rozmístění statisticky průkazné). Tomuto dělení odpovídá i rozmístění organismů v prostoru podle Begona & kol. (1997), podle něhož je u náhodného rozmístění pravděpodobnost výskytu organismu v každém bodě prostoru či plochy stejná, u rovnoměrné distribuce si od sebe jedinci udržují stejné vzdálenosti a u shlukové některé složky prostředí či někteří jedinci přitahují jiné jedince. Typ distribuce je závislý i na velikosti prostoru.

Při provádění statistických analýz v GIS je dobré využít toho, že některé systémy umožňují přímé napojení na statistické programy, jako například SPSS, Statistica, MS Excel, atd., kde je zpracovávaná data možné dále analyzovat (Horák 2002; Jedlička 2007).

1.3.2 Analýzy modelů terénu

Reliéf je významná řídicí proměnná v mnoha ekologických procesech, má vliv na světlo, teplotu, tok vody či pohyb organismů. GIS poskytuje řadu metod pro analýzy reliéfu terénu, z nichž mnoho může být provedeno na jakékoli souvislé datové vrstvě (tzn. která má kontinuální atributová data, což jsou kvantitativní data, jako například teplota, nadmořská výška, hustota populace) (Jedlička 2007).

Digitální modely terénu či reliéfu (DTM = Digital Terrain Model) jsou zpravidla reprezentovány v rastrové podobě či pomocí TIN, přičemž nepravidelná trojúhelníková síť je často vhodnějším prostředkem k uložení dat v malém měřítku, než je rastrový DTM. Umí přesněji pracovat s místy ostrých zlomů sklonu, protože

trojúhelníkové hrany je možné uspořádat nepravidelně a různými směry podél těchto zlomů (na rozdíl od pravidelných buněk rastrové mřížky).

Vstupní vrstvou pro tvorbu DTM bývají body určené souřadnicemi $[x, y, z]$, vrstevnice, plochy o známé výšce (např. jezera), či jiné morfologické útvary. Nejprve je nutné označit významné body hlavních struktur reliéfu – vrcholy, průrvy, strže či horské hřbety. Podle těchto bodů se provede interpolace a generalizace, takže je možné některá nevýznamná data z výsledného modelu terénu vypustit (Johnston 1998). Z vektorový dat triangulací vzniká TIN a interpolací rastr.

Nad DTM je možné provádět několik analýz:

Výpočet sklonu (slope), který je definován jako tangenta roviny povrchu a má dvě složky: gradient G určující maximální poměr změny výšky a aspekt A , což je azimutová orientace gradientu (Tuček 1998). Podle Burrougha (1986 ex Tuček 1998) se často užívá pojem sklon ve významu gradient a aspekt se označuje jako expozice. Z údajů o sklonu svahu vychází řada dalších analýz, jako vážená vzdálenost, morfologické analýzy (např. nalezení lokálních minim a maxim) či analýza osvětlení reliéfu, která umožňuje počítat množství dopadajícího světla na danou lokalitu (Jedlička 2007).

Dále se DTM využívají pro vytvoření horizontálních i vertikální řezů terénu, pro vytvoření vrstevnicových map (Tuček 1998), mohou se z nich počítat reálné plochy a reálné délky povrchu (místo planimetrických z dvojrozměrného znázornění povrchu).

Analýzy viditelnosti (z linie, z bodu), které umí odpovědět například na to, jaké oblasti je možné vidět z daného bodu, jak často je vidět dané místo z linie či kolik a kde je třeba minimálně postavit rozhleden, aby bylo viditelné celé zájmové území (Jedlička 2007).

Nakonec to jsou speciální analýzy nad DTM, což jsou matematické modely využívající digitální model terénu jako např. atmosférické a hydrologické analýzy.

1.3.3 Analýzy obrazů

Podle Tučka (1998) má analýza obrazů úzký vztah k jiným analýzám, vykonávaným v prostředí GIS. Souvisí to se tím, že obrazy slouží k reprezentaci reality a ke zjišťování a měření jejich vlastností.

Tuček (1998) uvádí několik metod zpracování obrazů získaných z dálkového průzkumu Země.

Korekce obrazů slouží k vyhledávání a opravě chyb, šumu a geometrických zkreslení, které vzniknou v procesu snímání, přenosu a zaznamenávání údajů. Je

možné je rozdělit na radiometrické, které odstraňují atmosférické vlivy či chvilkové výpadky obrazu, a geometrické korekce k odstranění geometrického zkreslení.

Preparování obrazů (vylepšování) souží k vylepšení obrazu pro případné další zpracování.

Klasifikace obrazů je dalším způsobem zpracování obrazů, tentokrát pomocí statistických metod, které umožňují na zpracovávaném obrazu identifikovat homogenní oblasti (Jedlička, 2007).

1.3.4 Měřicí funkce

Na prostorovými datech lze uskutečnit mnoho měření, od jednoduchého měření plochy po souhrnné krajinné indexy (Johnston 1998), prostorové objekty však zůstávají nezměněné.

1.3.5 Dotazy na databázi

Prohlížení a vyhledávání určitých údajů vždy předchází jednoduchým operacím i složitějším analýzám těchto údajů. Proto je výběr dat splňujících určitá kritéria základním analytickým nástrojem používaným v prostředí GIS (Tuček 1998).

Moderní GIS jsou spojené s databázovým systémem DBMS (database management system), který poskytuje širší rozsah výběrových a dotazovacích nástrojů. Často jsou používány speciální dotazovací jazyky jako SQL (Structured Query Language) nebo prostředí QBE (Query By Example) (Johnston 1998).

Dotazy mohou být prostorové (ptáme se na polohu), atributové (ptáme se na atributy) nebo kombinované (Jedlička 2007) a jak uvádí Tuček (1998), proces dotazování má obecně 3 hlavní kroky. Těmito kroky jsou vymezení údajů, kterých se dotazovací operace týká, dále stanovení podmínek, kterým musí údaje vyhovovat a nakonec informace o tom, co se má s vybranými údaji vykonat.

Prostorovými dotazy je možné identifikovat geoobjekt podle jeho souřadnic či v rámci určitého geometrického tvaru prostoru (Jedlička 2007). U vektorové reprezentace dat se provádí zpracováním tabulek s atributovými údaji objektů, u rastrových dat se zjišťuje atribut uložený v konkrétní označené buňce (Tuček 1998).

U atributového dotazování se většinou vyhledávají objekty, které mají požadovaný atribut. Stejně tak je možné stanovit intervalové nebo logické podmínky jednoho či více atributů pro výběr. Ve vektorové reprezentaci se také jako první zpracovávají atributové tabulky objektů. V rastrové reprezentaci dojde k reklasifikaci hodnot (vyhovující objekty mají 1, nevyhovující 0) uložených v buňkách příslušné informační vrstvy (Tuček 1998). Při dotazování na více atributů jednoho vektorové

vrstvy se využívají matematické (=, <, >) či logické operátory (Booleovská logika). Atributy mezi sebou mohou mít vztah sjednocení (OR), průnik (AND), negace sjednocení (OR NOT) nebo negace průniku (AND NOT).

Formulovat dotazy na databázi je možné i pomocí topologických vztahů mezi objekty (Tuček 1998). Topologické překrytí (overlay) nastává při dotazování dvou či více informačních vrstev a tímto procesem vznikají nové vrstvy či objekty s vlastními atributy (na rozdíl od prostorových dotazů, při kterých nová data nevznikají) (Jedlička 2007). Při topologickém překrytí se také používají pravidla Booleovské logiky v rámci následujících funkcí (viz obr. 1):

- INTERSECT (AND) se používá k vytvoření datové vrstvy znázorňující všechny kombinace dat, které se vyskytují v rámci území společném pro obě vstupní vrstvy.
- UNION (OR) se využívá k vytvoření vrstvy znázorňující všechny kombinace dat vyskytující se v rozsahu obou datových vrstev.
- IDENTITY (AND NOT) se používá k vytvoření datové vrstvy znázorňující všechny kombinace dat vyskytující se v prostorovém rozsahu první vstupní datové vrstvy.

Topologické překrytí je obvykle prováděno s polygonovými datovými vrstvami, ale intersect a identity může být prováděno mezi polygonovou vrstvou a bodovou či liniovou vrstvou (Johnston 1998).

Jedlička (2007) ještě uvádí další funkce pro topologické operace, během kterých ale nedochází ke spojování atributů vrstev, ale k jejich přejímání ze vstupní vrstvy. Těmito funkcemi jsou:

- CLIP - vstupní vrstva je oříznuta podle polygonů v druhé vrstvě (zachovávají se atributy vstupní vrstvy a tvar druhé vrstvy)
- ERASE - opak CLIP, ze vstupní vrstvy se vyřízne část atributů podle polygonů definovaných v druhé vrstvě.
- SPLIT - vstupní vrstva je rozdělena na části podle hranic druhé vrstvy.
- UPDATE - část vstupní vrstvy je aktualizovaná druhou vrstvou

Topologická překrytí jsou v ekologii často používána k odvození empirických vztahů pro rostlinná a živočišná stanoviště. Pomocí Booleovské logiky je možné lokalizovat plochy, které mají jedinečnou kombinaci stanovištních podmínek požadovaných určitým druhem rostlin či živočichů. Naopak pokud jsou tyto podmínky neznámé či málo prozkoumané, Booleovské operátory mohou být použity k jejich určení pomocí funkce intersect mezi stanovištními proměnnými a rozmístěním organismů (Johnston 1998).

1.3.6 Mapová algebra

Mapová algebra je podobně jako topologické překrytí nástroj určený ke kombinování datových vrstev, ovšem je určený pouze pro rastrová data. Pomocí matematických operací vzniká z jedné či více rastrových vrstev nová vrstva (Jedlička 2007).

Zpracování dat a manipulace s nimi se provádí za použití speciálního počítačového jazyka - tzv. jazyka mapové algebry, který je navržený pro popis analýz prostorového modelování s využitím rastrových map (Tuček 1998).

Pro zpracování dat se využívají různé operátory a funkce. Pomocí operátorů, které jsou např. Booleovské (pravda, nepravda), relační (<, >, =), aritmetické (+, -, *, /) či kombinatorické, se provádějí matematické výpočty mezi konstantami v rámci jedné či více vrstev (Tuček 1998). Funkce se podle rozsahu dělí na lokální (výpočet z hodnoty uložené v dané buňce, většinou matematické, trigonometrické či exponenciální funkce), fokální (výpočet z nejbližšího okolí dané buňky - většinou 3 x 3 sousedních buněk, patří sem např. odvození sklonu, řešení viditelnosti či analýzy povodí), zonální (probíhají na vymezené oblasti vrstvy, většinou funkce statistické či geometrické) a globální funkce probíhající na celé vrstvě, především vzdáleností analýzy (Tuček 1998, Jedlička 2007).

1.3.7 Vzdálenostní analýzy

Nejpoužívanější vzdáleností analýzou je tzv. buffer - tvorba nárazníkových zón či ploch kolem objektů pomocí vytyčené vzdálenosti. Ve vektorové reprezentaci se kolem bodů, linií či polygonů vytvoří nové polygony včetně topologie a atributů (Jedlička 2007). V rastrové reprezentaci většinou dojde nejprve k výpočtu nejkratší průmětové vzdálenosti každé buňky od cílového objektu a dále vytvoření Booleovského obrazu, kde buňky se vzdáleností menší či rovnou stanovené podmínce získají pravdivostní hodnotu (1) a zařadí se do zóny bufferu, ostatní dostanou atribut nepravda (0). Nárazníkové zóny jsou často dále využívány například pro prohledávání či topologické překrytí (Tuček 1998).

Další vzdálenostní analýzou je analýza sousedství (proximity analysis), při které se kolem každého vstupního bodu vytvoří individuální plocha (polygon). Tato plocha znázorňuje území, pro které je příslušný bod nejbližší (Jedlička 2007). Hranice mezi polygony jsou od obou sousedních bodů stejně vzdálené a k výpočtu sousedských ploch se používají Thiessenovy a Voronoi polygony (Tuček 1998).

Vážená vzdálenost (weighted distance) se také řadí mezi vzdálenostní analýzy. Uvažuje reálné převýšení a odpor prostředí proti pohybu v různých

směrech a částech prostoru. Vychází z tzv. povrchu nákladů (cost surface), což je rastrová vrstva, která má v každé buňce uloženou hodnotu vypovídající o stupni obtížnosti či nákladovosti pro její překonání. Povrch vážené vzdálenosti pak znázorňuje nejsnazší či nejrychlejší trasu pro překonání určité vzdálenosti, může být využitý i pro hledání cesty s nejmenšími náklady (Jedlička 2007). Johnston (1998) uvádí, příklad této analýzy na energetickém výdeji bobra při cestování bobra z rodného doupěte. Náklady na překonanou jednotku vzdálenosti jsou oceněny hodnotou 1, když bobr může plavat v rybníce sousedícím s doupětem. Ale pokud se musí pohybovat po souši, náklady vzrostou na hodnotu 3 (protože bobři jsou mnohem lepší plavci než chodci).

1.3.8 Analýzy sítí

Podle Tučka (1998) je za síť možné považovat soubor liniových objektů, přes jenž proudí nějaké zdroje. Objekty jsou charakterizovány délkou, směrem a konektivitou (propojují minimálně 2 body). Sítě jsou reprezentovány vektorovou vrstvou a většinou jsou dvojrozměrné. Jsou složeny z hran a uzlů s definovanými pravidly pro směr a rychlost pohybu po nich, ale mohou mít uloženy i jiné charakteristiky. Jednou z těchto základních je délka, proto analýzy sítí mohou sloužit jako vektorová forma obyčejných i oceněných vzdálenostních analýz.

Z analýz na sítích se nejčastěji uvádí modelování zatížení sítě, hledání optimálních tras (vyhledání časově či cenově nejvýhodnější trasy mezi určitými uzly sítě) a rozdělování neboli alokace zdrojů. Analýza alokace je podobná vytváření bufferů, ale vzdálenost od určitého objektu je vedena přes danou síť, ne vzdušnou čarou (Tuček 1998, Jedlička 2007).

Liniové objekty často mají důležité ekologické funkce. Z hlediska savců se nejvíce používají ke znázornění a analýzám migračních tras a koridorů (Johnston 1998).

2 EKOLOGIE

Pod pojmem ekologie bylo definováno už v roce 1869 Ernestem Haeckelem studium vzájemného působení mezi organismy a jejich prostředím (Begon & kol. 1997).

Podle Yahnera (1980) modernější definice říká, že ekologie je věda zabývající se vzájemným působením vnitřních a vnějších faktorů, které ovlivňují prostorové rozmístění a početnost organismů, populací a společenstev v čase a v prostoru.

Právě savci se díky své stálé tělesné teplotě a schopnosti adaptace dokázali rozmístit téměř do všech prostředí na Zemi. Také na ně působí celá řada ekologických faktorů (teplota, voda, světlo, potrava, vztahy mezi organismy, atd.), které ovlivňují výskyt druhů v daném prostředí, jejich natalitu, mortalitu, početnost, migrace či vznik různých adaptací (Vlasák 1986).

2.1 Metody sběru a lokalizace terénních dat

Záznamy o výskytu a pohybu volně žijících živočichů jsou velmi důležitými informacemi pro ekologický výzkum. V dnešní době existuje řada metod, jak lze tyto informace získat (Šustr 2001).

Může se jednat o přímá pozorování a zaznamenávání údajů – především výskytu velkých savců v daném území. Pozorování je možné provádět ze země (např. metodou liniových transektů, avšak podle Walterta & kol. (2008) neexistuje mnoho psaných studií, podle kterých by bylo možné provádět průzkumy odpovídajícím způsobem) nebo ze vzduchu. Letecký průzkum je možné použít k monitorování početnosti i rozptylu velkých savců v přehledném terénu, avšak údaje o menších či skrytě žijících živočiších touto metodou není možné získat (Waltert & kol. 2008). Údaje o výskytu živočichů je možné získat i nepřímým sledováním stop či trusu.

V dnešní době je ale jednou z nejdůležitějších a nejvíce používaných metod telemetrie.

2.1.1 Telemetrie

Telemetrie je přenos informací, zajišťovaný obvykle pomocí radiových vln, skrz atmosféru mezi dvěma body, z nichž se jeden nebo i oba pohybují (Technologies for Conservation and Development).

Počátky telemetrie se datují do 50. let 20. století, kdy se vysokofrekvenční telemetrie stala důležitým nástrojem v rozvoji ekologie volně žijících zvířat. V 70. letech se ke konvenční VHF telemetrii přidal systém Argos se satelitní telemetrií, který s větší frekvencí a přesností umožnil získat data o trasách a časech migrací, než to bylo možné např. z přímého leteckého pozorování (Technologies for Conservation and Development). V 90. letech se ještě přidává GPS telemetrie, při které je možné získání velkého objemu dat s vysokou prostorovou i časovou přesností za vydání minimálního lidského úsilí (Sand & kol. 2005).

Dle rozsahu frekvence radiových vln můžeme telemetrii rozdělit na VHF (Very High Frequency) a UHF (Ultra High Frequency), kam patří zaměřování pomocí satelitů (Tomášek 2009).

→ **VHF telemetrie** je konvenčním typem telemetrie. Vybavení pro VHF telemetrii se skládá jednak z vysílací jednotky, která obsahuje radiový vysílač, zdroj energie a anténu šířící signál; a jednak z přijímací jednotky s anténou, radiovým přijímačem s indikátorem příjmu (display, reproduktor) a zdrojem energie (Technologies for Conservation and Development). Většina radiových zaměřovacích systémů zahrnuje vysílače naladěné na různé frekvence, které umožňují individuální identifikaci zvířat.

Zaměření živočicha je možné provést pěšky v terénu sledováním radiového signálu pomocí přijímače a naleznutím označeného zvířete (Tomášek 2009). Tento způsob je ale vhodný spíše v rovinném, dobře prostupném terénu (Šustr 2001) a je poměrně náročný na čas a pracovní sílu. Navíc může docházet k rušení zvěře a chybám při zaznamenávání pozice do mapy (Tomášek 2009). Podobně je možné provést zaměření zvířat ze vzduchu pomocí přijímače připevněného na letadle. Lze takto monitorovat rozsáhlejší a hůře přístupné oblasti s nižším vynaložením času a úsilí, avšak vyššími náklady a navíc závislostí na počasí .

Dalším způsobem získání dat VHF telemetrií je připevněním přijímačů na nepohyblivé body - věže. Využívá se opět spíše v malém rovinném terénu a k získání údajů o pozici zaměřovaných zvířat je třeba provést triangulaci (Šustr 2001), což je metoda určování polohy objektu ze vztahů v trojúhelníku pomocí známých úhlů (azimutů) mezi měřícími věžemi.

Podle Šustra (2001) je výhodou radiové telemetrie dlouhá životnost zařízení bez potřeby opětovného odchyty zvířete až po dobu tří let. Naopak nevýhodou je potřeba častého manuálního měření a nižší přesnosti měření v porovnání s GPS.

→ **Satelitní telemetrie** je v podstatě založená na systému Argos, který byl vytvořený k monitorování meteorologických a oceánografických dat v 70. letech 20. století na základě americko – francouzské spolupráce mezi CNES (French Space Agency), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a NASA (National Aeronautics and Space Administration), s řídicím centrem CLS (Collecte Localisation Satellites) (Argos 2008). Avšak postupem času se stal hojně využívaným systémem ke sledování a monitorování volně žijících druhů na celém světě (Tomkiewicz 1997). Tento systém umožňuje lokalizovat jakýkoli pohyblivý objekt vybavený kompatibilním vysílačem. Vysílač připevněný na živočicha, tzv. PPT (Platform transmitter terminal) má vlastní identifikační číslo a vysílá v nastaveném intervalu signál o stabilní ultra vysoké frekvenci (401, 650 MHz +/- 30 kHz). Vysílač může mít i zabudované senzory, které měří fyziologické vlastnosti živočicha (např. jeho teplotu, srdeční tep, ..). Signál je zachycen satelity, které obíhají na nízké polární oběžné dráze ve výšce 850km nad zemí. Satelity poté přenášejí zprávu k přijímacím stanicím na Zemi, které tyto zprávy automaticky přeposílají do jednoho ze zpracovacích center. Tato centra jsou 2 – v USA u Washingtonu D.C. a ve Francii v Toulouse a probíhá zde zpracování dat ze senzorů a výpočet pozice živočicha na základě Dopplerova efektu (Argos 2008). K přesné lokalizaci polohy jsou zapotřebí alespoň 2 satelity. Výsledná data jsou posílána ve formě map či souborů k uživatelům, kteří je mohou získat on-line připojením, e-mailem, faxem, sms zprávou, atd..

PPT mohou být na zvíře připevněny pomocí obojku (*viz obr. 1*), postroje, podkožního uchycení či přilepení (Taillade 1992 ex Technologies for Conservation and Development). Právě přilepení vysílače na živočicha pomocí epoxidové pryskyřice umožnilo rozvoj satelitního sledování mořských savců (Andrews 2009).



Argos/GPS collar for brown bears



Miniaturized Argos collars

Obr. 1: Obojky s vysílači systému Argos (převzato od Tomkiewicz 1997)

Rodgers (in Millsaugh & Marzluff 2001) uvádí, že první vysílače určené pro telemetrii divokých zvířat byly testované na losovi, ale byly extrémně velké a těžké. Druhou generací byly v polovině 80. let vysílače o hmotnosti 1,6 – 2 kg, které fungovaly 12 – 18 měsíců a usnadnily řadu studií o volně žijících druzích. V dalších letech se vysílače stále rozvíjely, snižovala se hmotnost i potřebný výkon, aby bylo možné používat lehčí zdroje energie. Koncem 90. let byly dostupné vysílače o hmotnosti 30g i nižší (vhodné pro živočichy vážící 700 – 1500g). Podle Wikelskiho (2006) je ale velikost vysílače i přes značný pokrok stále limitujícím faktorem v použití satelitní telemetrie. Uvádí, že v roce 2006 nejmenší dostupný vysílač na trhu vážil 9,5 g, ale přesto byl příliš těžký pro přibližně 66,8% všech světových druhů savců. Pokud ale není velikost vysílače limitující, je lepší využít větší vysílače s větší baterií, takže i delší životností. Životnost však záleží na periodě vysílaného signálu (většinou každých 60 – 90 s) a na zvolené době, po kterou je vysílač zapnutý a vypnutý - např. vysílá 6 hod a pak se na 42 hodin vypne (Rodgers in Millspaugh & Marzluff 2001).

Přesnost měření ovšem není být vysoká, proto má satelitní telemetrie využití hlavně při monitorování pohybu na velké vzdálenosti, ale nehodí se ke studiu malých lokalit (Rodgers in Millspaugh & Marzluff 2001, Fogueken & kol. 2007). Výrazné zpřesnění se dosáhne zabudováním GPS přijímače do PPT.

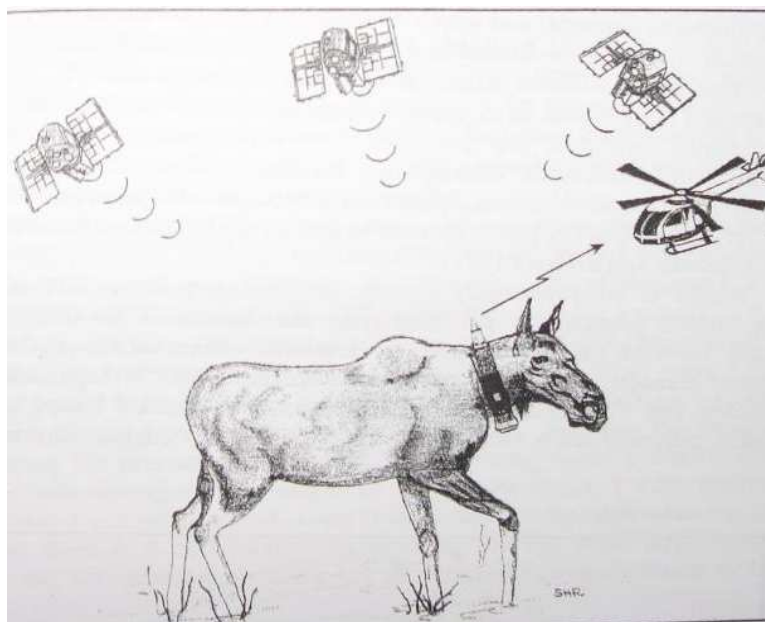
→ **GPS** (Global Positioning system) je satelitní polohovací systém vytvořený v roce 1978 Ministerstvem obrany Spojených států původně pro vojenské účely (Johnston 1998, Bajaj & kol. 2002) a plně funkční od roku 1993.

Vybavení pro GPS telemetrii tvoří opět zvířecí jednotka, která má ale místo vysílače zabudovaný GPS přijímač a paměťové médium (Šustr 2001). K určení polohy na Zemi je používána speciální sada 24 satelitů, které obíhají na šesti 12-ti hodinových oběžných dráhách ve výšce 21 km nad zemí. Satelity jsou rozmístěny tak, že v každém okamžiku je jakýkoli bod na Zemi v dosahu minimálně 5 z nich (Bajaj & kol. 2002). Tyto satelity nepřetržitě vysílají informaci o čase a jejich pozici. Každý satelit je vybavený vysoce přesnými atomovými hodinami (měří čas na základě rezonanční frekvence atomů), které se zpozdí či předběhnou o 1 vteřinu za 30 000 let (Molles 2008). GPS přijímač, který také obsahuje velmi přesné hodiny, zachytává radiové vysílání ze satelitů a podle doby a rychlosti (radiový signál má rychlost světla 299 460 km/s, Johnston 1998) letu signálu od satelitu k přijímači určuje vzdálenost mezi nimi.

Pozice přijímače může být zaměřena, pokud dojde k vypočtení vzdáleností nejméně od 3 satelitů ve stejný okamžik. Tento proces se nazývá trilaterace (Bajaj & kol. 2002). Jedno měření zužuje polohu ve vesmíru na povrch koule, jejíž střed je satelit a poloměr se rovná vzdálenosti přijímače od satelitu. Měření vzdálenosti ke dvěma satelitům zužuje určení polohy na kružnici, která vznikne protnutím dvou koulí definovaných vzdálenostními poloměry. Měření vzdálenosti k třetímu satelitu limituje polohu na jeden ze dvou bodů v prostoru, v kterých třetí povrch kruhu protíná kružnici (Johnston 1998). Jeden z těchto dvou bodů obvykle neleží na zemském povrchu, proto je možné určení polohy jen třemi satelity. S měřením vzdáleností ke 4 satelitům, je však možné velmi přesně určit zeměpisnou délku, šířku, i nadmořskou výšku jediného bodu na Zemi (Molles 2008).

Geografické souřadnice s datem a časem zaměření a případně data naměřená speciálními senzory jsou ukládány v přijímači živočicha a v podstatě jsou 3 způsoby, jak je možné tyto data získat. Buď se data ukládají do paměťového média po delší čas a pak se získají opětovným odchytem zvířete či rozepnutím obojku na dálku pomocí speciálního radiového mechanismu. Jiný způsob je poslání dat přes satelit s nízkou oběžnou dráhou (přes systém Argos, kdy je v GPS přijímači zabudován

PPT). Třetí možností je poslat uložená data přes lokální spojení (spojením dvou UHF modemů na dálku max. 15 km, z nichž jeden je zabudovaný v přijímací jednotce zvířete a druhý v letadle neseném počítači (viz obr. 2) nebo přes VHF vysílač, zabudovaný v jednotce živočicha, a přijímač držený na zemi v max. vzdálenosti 5 km či ve vzduchu do 25 km) (Rodgers in Millspaugh & Marzluff 2001).



Obr. 2: GPS přijímač v obojku zvířete se zabudovaným UHF modemem pro lokální přenos dat (Rodgers in Millspaugh & Marzluff 2001).

GPS technologie, v porovnání s VHF telemetrií, zaměřuje data s velkou prostorovou i časovou přesností. Navíc umožňuje získání velkého objemu dat s minimálním vynaložením lidského úsilí (Sand & kol. 2005). Zejména vysoká přesnost i intenzita v zaměřování zvířat by měly umožnit provedení detailních analýz využití stanoviště, délky aktivity, velikosti stanoviště a využití prostoru, sociálního chování živočichů či predace (Sand & kol. 2005).

Šustr (2001) uvádí, že existuje mnoho softwarů, které je možné použít ke zpracování telemetrických dat.

2.1.2 Satelitní snímkování

Zatímco navigační a GPS satelity nám dokážou přesně lokalizovat polohu, jiné satelity nám mohou poskytnout množství jiných důležitých informací (Molles 2008). Podle Fancyho & kol. (1988) je možné je využít k monitorování parametrů, které ovlivňují život savců. Mezi tyto parametry patří počasí, pokryv, reliéf, fragmentace prostředí, atd. a je možné je získat především satelitním snímkováním zemského povrchu.

Dálkovým snímkováním je možné získat informace o objektech bez přímého kontaktu s nimi, a to především díky elektromagnetickému záření odráženého a vyzařovaného těmito objekty (Budd in Goldsmith 1991, Roughgarden & kol. 1991, Molles 2008). Satelity pro dálkové snímkování jsou vybaveny elektrooptickými senzory, které snímají několik pásem elektromagnetického spektra. Tyto senzory převádí elektromagnetické záření do elektrických signálů, které jsou počítačem zpracované do digitálních dat.

Přestože družicové snímkování může využít téměř všechny vlnové délky elektromagnetického záření, pro ekologická monitorování se využívají hlavně pásma viditelného a infračerveného světla (Budd in Goldsmith 1991). Záření, které je odráženo od zemského povrchu, je určeno především spektrálními charakteristikami vegetačního krytu, ale ovlivňuje ho i např. množství sluneční energie dopadající na vegetaci.

První satelit navržený pro environmentální monitorování byl v roce 1973 Landsat 1 (Budd in Goldsmith 1991), od té doby bylo vypuštěno mnoho dalších satelitů včetně novějších typů satelitu Landsat.

Kombinace geografických informačních systémů, satelitní telemetrie, družicového snímkování a počítačového zpracování je silným nástrojem pro výzkum volně žijících druhů živočichů. Geografické informační systémy díky tomuto propojení umožňují efektivně studovat vztahy mezi živočichy a jejich biotickým i abiotickým prostředím (Fancy & kol. 1988).

2.2 Hlavní typy prostorových analýz v ekologii savců

Horne & kol. (2008) uvádí, že porozumění využití prostoru živočichy je kritická část mnoha ekologických studií. Protože využití prostoru je výsledkem fyziologických a behaviorálních adaptací na specifické charakteristiky životního prostředí, ekologové se už dlouho snaží popsat, kde živočichové žijí, a hlavně se snaží porozumět faktorům, které ovlivňují využití prostoru. Mezi nejhlavnější faktory patří tendence živočichů zůstat v určité oblasti nebo v domovském okrsku kvůli tzv. fidelitě (neboli věrnosti stanovišti) či teritoriálnímu chování, dalším faktorem je rozmístění nutných či vybraných zdrojů a také polohy ostatních živočichů.

Jeden z nejběžnějších faktorů ovlivňující živočichy v prostoru je tendence většiny z nich omezit své aktivity pouze na část území či do tzv. domovského okrsku (Horne & kol. 2008). V rámci okrsku si živočichové vybírají určitá stanoviště více jak jiná v závislosti na potravě a vegetačním krytu. Výběr stanoviště je proto odhadovaný pro takové charakteristiky, jako je druhové složení a struktura vegetace či topografie (Morrison & kol. 1990 ex Horne & kol. 2008).

Kromě územní věrnosti a výběru stanoviště může ovlivnit využití území přítomnost či naopak nepřítomnost jiných živočichů. Vyhýbání či přitahování se většinou spojené s pářením, vztahem predátora s kořistí či kompeticí.

2.2.1 Analýza domovského okrsku

Jedním ze základních požadavků při studiu živočichů je pochopení vztahu mezi živočichem a jeho prostředím. Na hodně zjednodušené úrovni je tento požadavek splněný analýzou domovského okrsku (Laver 2005). Domovský okrsek může být určen pouze tehdy, vyskytuje-li se živočich často v určité oblasti (Hooge & kol. 1999). Moorcroft (in Jorgensen 2008) definuje domovský okrsek jako území, v kterém živočich normálně žije, s výjimkou migrací a jiných velkých málo častých přesunů. Podobně ho definuje i Ecological Software Solution (2004) jako území využívané živočichem během jeho aktivit. Kernohan & kol. (in Millspaugh & Marzluff 2001) navrhuje považovat domovský okrsek za velikost plochy s definovanou pravděpodobností výskytu živočicha během určitého časového období.

Velikost domovského okrsku obvykle souvisí s velikostí těla živočichů, dále může být ovlivněna výskytem dostatečných či nedostatečných zdrojů potravy (Moorcroft 2008). Horne & Garton (2006a) doplňují, že kromě velikosti může i jeho

tvář či strukturu ovlivnit vztah mezi predátorem a kořistí, kompetice či sociální vztahy a způsob rozmnožování.

Prostorové rozmístění živočichů zaznamenané většinou telemetrií (případně pozorováním či odchytém do pastí, Worton 1987) se využívá pro odhad velikosti domovského okrsku s použitím statistických modelů (Moorcroft 2008). Právě výběr vhodného modelu je důležitý pro popis využití prostoru živočichem a pro pochopení ekologických procesů ovlivňujících pohyb zvířat (Horne & Garton 2006). Navíc je odhad domovského okrsku poměrně citlivý na velikosti vzorku (počtu zaměření živočicha), z kterého se odhad dělá. Všeobecně se považuje za vhodný vzorek takový, který obsahuje alespoň 50 nezávislých zaměření jedince (Doherty 2003a).

Metod odhadů existuje celá řada, mohou a nemusí posuzovat pravděpodobnost výskytu živočicha v každém bodě prostoru (tzn. využívat UD – viz níže), mohou být parametrické i neparametrické (Doherty 2003b). Worton (1987) považuje za nejužitečnější metody pro vyhodnocení domovského okrsku ty, které zahrnují funkci hustoty- tzv. utilization distribution (UD). UD je matematické vyjádření reprezentující pravděpodobnost, s jakou bude živočich přítomný v libovolné malé ploše (Horne & Garton 2006a).

Mezi hlavní odhady domovských okrsků (pro jejichž výpočet navíc existují nástroje v prostředí GIS) patří metoda minimálních konvexních polygonů, odhad Jennrich-Turner, metoda harmonického průměru a kernelovské odhady hustoty (Foguelken & kol. 2007).

→ **Metoda minimálních konvexních polygonů (Minimum Convex Polygon – MCP)**

Je nejstarší a nejběžněji používanou metodou k odhadu domovského okrsku, kterou v roce 1947 popsal Mohr (Worton 1987, Doherty 2003b, Laver 2005, Foguelken & kol. 2007). Není to statistická metoda, protože nevychází z žádné hypotézy o rozmístění dat, domovský okrsek je charakterizován pouze zaměřenými polohami výskytu živočicha. Minimální konvexní polygon nemá vnější úhly větší jak 180° a je to minimální plocha, která obsahuje všechna zaměřená data. Vytvoří se pospojováním okrajových bodů pomocí linie (Worton 1987).

Tato metoda je velmi jednoduchá, avšak poskytuje informaci pouze o velikosti domovského okrsku, nevypovídá nic o intenzitě využití jednotlivých částí okrsku živočichem (Worton 1987, Doherty 2003b). Navíc je odhad velmi citlivý na velikost vzorku a s každým přesunem živočicha se plocha okrsku může zvětšit. Proto se zpravidla používá méně jak 100% vstupních

bodů (Worton 1987, Ecological Software Solutions 2004, Moorcroft in Jorgensen 2008), z kterých je vyřazeno většinou 5 – 10% bodů nejvzdálenějších od průměrných hodnot souřadnic x, y (Doherty 2003b, Moorcroft in Jorgensen 2008). Naopak u malého vzorku dat může dojít k podhodnocení domovského okrsku. Tato metoda také bývá kritizována za to, že může zahrnovat velké plochy, které živočich nikdy nenavštíví a někdy ani navštívit nemůže díky geografickým omezením (Worton 1987).

→ **Metoda Jennrich-Turner**

Model, který vytvořili Jennrich & Turner v roce 1969 je pravděpodobnostní, protože je definován obvykle jako plocha s 95% jistotou výskytu živočicha (Worton 1987). Tento model předpokládá normální dvojrozměrné rozdělení dat a má jeden vrchol (centrum aktivity – tento koncept vychází z názoru Hayneho (1949 ex Kernohan & kol. in Millsbaugh & Marzluff 2001), že domovský okrsek musí zahrnovat informace o intenzitě využití různých částí okrsku) se středem v elipse (Doherty 2003b), proto tento model vytváří specifický eliptický tvar domovského okrsku. Ovšem elipsy nejsou reálnými reprezentacemi toho, jak živočichové využívají prostor, ti se obvykle nepohybují náhodně okolo určitého bodu, ústřední bod často není centrem okrsku a těchto center bývá více.

→ **Metoda harmonického průměr (Harmonic mean, HM)**

Tento model popsali v roce 1980 Dixon a Chapman. Je pravděpodobnostní, ale na rozdíl od Jennrich-Turnerova modelu neparametrický, takže je i méně citlivý na odchylky od normality a umožňuje živočichům využívat svůj domovský okrsek nerovnoměrně (Doherty 2003b). Navíc je vhodný pro určení více center aktivity (Foguelken & kol. 2007).

Harmonický průměr je průměr převrácených hodnot vzdáleností od jakéhokoli bodu ke všem pozorováním. Nad data je položena mřížka, od jejichž uzlů se počítá harmonický průměr vzdáleností ke každému bodu pozorování. Tento průměr je následně znovu obrácený pro získání konečných výsledků, protože vyhodnocení harmonického průměru nad mřížkou udává přibližný povrch, který je vzhůru nohama. Je nízký tam, kde je největší hustota výskytu živočichů protože průměrná vzdálenost k pozorováním je nízká. A naopak vysoký v místech, kde jsou pozorování nejvíce rozptýlená (Seaman & Powell 1996). Problém ale může nastat,

pokud zaměřená telemetrická pozice je stejná jak uzlový bod sítě, takže není možné definovat HM tohoto bodu (Doherty 2003b).

Interpolací hodnot harmonického průměru je možné získat linii, uvnitř které je určitá pravděpodobnost výskytu živočicha. Ovšem linie jsou závislé na velikosti a počtu buněk mřížky, takže ze stejných dat mohou při různě zvolených mřížkách vzniknout rozdílné výsledky (Worton 1987, Ecological Software Solutions 2004).

→ **Kernelovské odhady hustoty**

Metody kernelovského odhadu hustoty jsou nejdůmyslnější metody odhadu domovského okrsku a v poslední době se stávají i nejvíce využívanými (Seaman & Powell 1996). Odhaduje se jím minimální plocha, která zahrnuje stanovené procento odhadovaného objemu UD (Kernohan & kol. in Millspaugh & Marzluff 2001).

Kernelovská metoda spočívá v umístění tzv. kernelů (pravděpodobnostních hustot) nad každý bod vzorku. Bod, který je obklopený mnoha dalšími body bude mít velkou hodnotu hustoty. K určení okolních bodů, které budou přispívat k odhadu hustoty na hodnoceném bodě, slouží tzv. šíře kernelu (bandwidth) neboli vyhlazovací faktor (smoothing parametr) h , který určuje poloměr oblasti vyhledávání nad hodnoceným bodem (Seaman & Powell 1996). Vyhlazovací faktor musí být předem určený a má obrovský vliv na výsledný odhad. Existuje mnoho postupů pro vybrání nejvhodnější hodnoty podle statistických vlastností dat (Horne & Garton 2006b). Doporučovanou metodou většinou bývá metoda LSCV (least squares cross validation). Také je možné dělit kernelovské metody na fixní a adaptivní. Při fixní metodě je použitý stejný vyhlazovací faktor pro všechny vstupní body, naopak u adaptivní metody je vybraný vyhlazovací parametr pro každý bod jiný. Je zpravidla větší v místech s málo zaměřenými body a menší tam, kde je zaměřených bodů hodně (Kernohan & kol. in Millspaugh & Marzluff 2001). Odhad fixní kernelovské hustoty je považován za přesnější.

Pravidelná pravouhlá mřížka (sít) je následně umístěná na data a odhad hustoty je získaný v každém průsečíku mřížky jako průměr hustot všech kernelů, které průsečík překrývají. Tam, kde se dvě prohledávací plochy pro odhad umístění překrývají, hodnota hustoty přiřazená pixelu je kumulovaná. Nakonec je vytvořený trojrozměrný povrch, který může mít

vyznačenou určitou hodnotu pravděpodobnosti výskytu (Seaman & Powell 1996).

Kernelovská metoda zjišťuje, jakou plochu živočich pravděpodobně využije (Fogueken & kol. 2007) a je dobrá ke zdůraznění oblastí s koncentrovanou aktivitou (Worton 1987). Navíc je relativně málo ovlivnitelná velikostí vzorku (Doherty 2003b).

Při zjišťování domovského okrsku je často výhodné nejprve pomocí dotazů na databázi rozdělit data podle určitého časového období (např. zimy, sucha, dešťů), a pak teprve provést výpočet domovského okrsku podle jedné z uvedených metod (Fogueken & kol. 2007). Domovské okrsky je pak možné porovnat pomocí topologického překrytí (overlay funkce), které zároveň může sloužit jako analýza tzv. fidelity (věrnosti živočicha k určitému místu).

Pomocí overlay mohou být porovnávány i domovské okrsky ze stejného časového období, ale od rozdílných živočichů, čímž lze zjistit jejich vzájemné prostorové vztahy (Kernohan & kol. in Millspaugh & Marzluff 2001).

2.2.2 Analýzy věrnosti

Odhady domovského okrsku často ignorují časový sled zaměřených dat a pouze zobrazují prostorová uspořádání bodů, bez ohledu na časové intervaly, v kterých byly tyto body lokalizované (Kernohan & kol. in Millspaugh & Marzluff 2001). Analýzy věrnosti (fidelity) živočicha k určitému místu věnují pozornost časovému hledisku. Jak bylo uvedeno výše, většinou se vytváří překrýváním odhadů domovských okrsků z různých časových období a slouží například ke zjištění, zda živočich celý rok využívá stejný domovský okrsek či zda zimuje po několik let na stejném místě. Z těchto údajů je pak možné získat informace, jaké životní podmínky danému druhu vyhovují, a pomocí analýz vhodnosti určit nová vhodná stanoviště v jiných územích (např. kvůli reintrodukcii).

2.2.3 Analýza využití a vhodnosti stanoviště

Stanoviště (habitat) může být definováno jako oblast, v které je specifický organismus schopný provádět aktivity, jenž přispívají k přežití a/či jeho reprodukci (Stamps in Jorgensen 2008).

Analýzy využití stanoviště se zaměřují na biotické a abiotické faktory ovlivňující přežití či reprodukci určitého druhu živočichů a na plochy obsahující tyto

faktory. Telemetrická data a data ze speciálních senzorů (aktivita, srdeční rytmus živočicha, teplota jeho okolí, atd.) mohou sloužit ke zjištění, jaké části stanoviště s jakými podmínkami jsou živočichem využívány k odpočinku, či jaké preferují plochy pro hledání potravy.

Za analýzu vhodnosti se dají považovat procesy překrývání a oceňování map (Gatrell & Bailey ex Clarke & kol. 1996). Většinou se jedná o mapové overlay operace s více datovými vrstvami, v kterých jsou zaznamenány stanovištní podmínky zájmového území (např. teplota, nadmořská výška, vegetační pokryv, typ využití půdy, srážky, atd.). Tyto operace umožňují podle atributů jednotlivých vrstev a podle definovaných kritérií vypočítat nové hodnoty pro každou část zájmového území, podle kterých je možné identifikovat či znázornit nejvhodnější stanoviště daného druhu.

2.2.4 Analýzy pohybu a znázornění migračních tras

Pohyby živočichů je možné definovat trajektorií nebo trasou, která je souvislá v prostoru a čase. Protože ale prakticky není možné živočichy sledovat nepřetržitě, používají se alternativní metody sběru diskrétních bodů výskytu, z kterých lze trajektorii vykreslit. Takovouto často používanou metodou je již několikrát zmiňovaná telemetrie. Především GPS telemetrie, která umožňuje téměř kontinuálně sledovat pohyb jedince za dlouhé časové období a na velké vzdálenosti (Horne & kol. 2007).

S telemetrickými daty není obtížné zjistit různé typy pohybu. Je možné zjistit přítomnost či nepřítomnost živočicha na určitém místě, denní pohyby jedinců, sezónní migrace mezi letními a zimními stanovišti či rozptyl z rodných oblastí (Doherty 2003b).

Existuje několik nástrojů, kterými lze například vytvořit trasy migrací podle lokalizovaných bodů výskytu (např. „Point to Line“ v AMAE, „Convert.pointstolines“ v GME – viz níže). Pokud je u každého zaměřeného bodu zaznamenaný čas a datum, je možné vypočítat, jakou vzdálenost živočich urazil za jaký časový interval, tudíž je možné zjistit i rychlost jeho pohybu. Pomocí množství atributových dotazů je možné rozdělit trasy cest do různých kategorií, např. denní či noční přesuny, pohyb v rámci určitého území či v určité hloubce ve vodním prostředí (Hooge & kol. 1999). Tyto analýzy jsou dobré k vytvoření dále testovaných hypotéz a ke zjištění procesů, které z bodové vrstvy nejsou patrné.

Pokud jsou živočichové zaměřeni dostatečně intenzivně během dálkových přesunů, je možné měřit, popsat a testovat hypotézy o vzdálenosti a směrovosti takových pohybů. To je možné například např. v programu AMAE (viz níže), který umí vykonávat kruhové statistické funkce nezbytné pro analyzování směru pohybu. Tento program je užitečný i pro mnoho jiných analýz pohybu, včetně testování fidelity a analýz domovského okrsku (Kernohan in Millspaugh and Marluff 2001).

2.3 Prostředí pro prostorové analýzy

Výše uvedené prostorové analýzy je možné zpracovat v mnoha programech. V rámci prostředí GIS zde budou uvedeny nástroje související se softwarem ArcGIS.

ArcGIS Desktop, zahrnující ArcView, ArcEditor a ArcInfo, je software vyvinutý firmou ESRI (Environmental Systems Research Institute) a podle Hoogea & kol. (1999) se ArcView a ArcInfo staly nejčastěji používanými geografickými informačními systémy na světě.

Už samotný program je schopný provádět mnoho náročných prostorových analýz. Navíc existují celá řada jeho nadstaveb pro usnadnění těchto analýz a pro zpracování prostorových dat. Nadstavby přímo od firmy ESRI (jak uvádí ArcData Praha 2010) jsou ArcGIS 3D Analyst (určený pro vizualizaci a analýzu 3D povrchu pomocí rastrových či TIN modelů, jako např. sklon a orientace svahů, analýzy viditelnosti, atd.), ArcGIS Spatial Analyst (především pro analyzování rastrových dat), ArcGIS Tracking Analyst (periodicky přijímá data o poloze či vlastnostech prvků, využívá se ke sledování pohybu objektů a změn jejich atributů), a další.

Dále existují ještě nadstavby, které nevytvořila firma ESRI a které se přímo týkají zpracování dat pro ekologický či biologický výzkum. Mezi tyto programy patří ArcView Animal Movement Analyst Extension (AMAE), Geospatial Modelling Environment (GME), Home Range Extension (HRE) a Home Range Tools (HRT), Animal Space Use, atd.

2.3.1 Geospatial Modelling Environment (GME)

GME je prostředí pro geografické prostorové analýzy, které kombinuje statistické funkce programu R s geografickým zpracováním programu ESRI ArcGIS.

Je to program navržený k provedení přesných prostorových analýz a modelování, díky kterým je možné vyřešit řadu ekologických či environmentálních problémů a problémů týkajících se ochrany přírody (Hawthorne 2010).

GME obsahuje sadu analytických a modelačních nástrojů různého rozsahu. Navíc k řízení některých analytických operací používá zvláště výkonný statistický software R, jehož silnou stránkou je jeho otevřený zdrojový kód (tzv. open source software), čili je kompletně přístupný a dobře zdokumentovaný (což, jak uvádí Hawthorne (2010), jsou důležité charakteristiky pro jakýkoli vědecký analytický program).

Geospatial Modelling Environment je jistým zdokonalením dřívější verze, tzv. HawthTools, které také vytvořil Beyer Hawthorne. Momentálně je GME spuštěná v beta verzi, a proto obsahuje pouze některé z funkcí, které bude nakonec obsahovat. Většina nyní implementovaných nástrojů jsou nástroje geografických informačních systémů. Další vývoj bude zaměřen především na statistické a modelovací nástroje (Hawthorne 2010).

2.3.2 ArcView Animal Movement Analyst Extension (AMAE)

Animal Movement je nadstavba pro ArcView 3.0 – 3.3 (současná verze AMAE 2.x pro správnou funkci ještě vyžaduje nadstavbu Spatial Analyst). Obsahuje soubor více jak 40 funkcí speciálně navržených pro pomoc při analýzách pohybu živočichů (jejich seznam uvádí Hooge & Eichenlaub 2000). Data pro tyto analýzy mohou být získána z radiových vysílačů, pomocí systému Argos či z pozorování. Program je navržený pro provedení celé řady funkcí týkajících se pohybu živočichů v rámci prostředí GIS (Hooge & Eichenlaub 2000).

Příprava dat není složitá, AMAE rovnou využívá bodové vrstvy, které umí importovat z databázových souborů, SQL tabulek, z mnoha datových struktur využívaných CAD a GIS (Hooge & kol. 1999). Data také mohou být přímo digitalizovaná pomocí digitizéru. Pokud je spolu s AMAE využita ještě nadstavba Tracking Analyst Extension (od ESRI), AMAE umí použít data nasbíraná přímo z GPS.

V prostředí AMAE jsou k dispozici 4 metody pro odhad domovského okrsku: Kernelovský odhad hustoty, MCP, Jennrich-Turner a harmonický průměr (Foguelken & kol. 2007).

Dále obsahuje nástroje nezbytné pro analyzování směru pohybu (Kernohan in Millsaugh and Marluff 2001).

2.3.3 Animal Space Use 1.3

Tento program vytvořený pro analýzy domovských okrsků a výběru zdrojů. Zatím je dostupný ve zkušební beta verzi a jeho autory jsou J. S. Horne a E.O. Garton.

V rámci ASU je možné využít jak zaměření, která se považují za časově nezávislá (většina tradičních odhadů domovského okrsku předpokládá taková data), tak i polohy zaměřené v relativně krátkých časových intervalech např. pomocí GPS (takže na sobě mohou být závislá).

Tato nadstavba akceptuje 2 typy dat – ESRI vrstvu, která by měla obsahovat v atributové tabulce 2 sloupce odpovídající x, y souřadnicím zaměřených dat. Nebo textový soubor s tabulkou a dvěma sloupci obsahujícími taktéž souřadnice. Souřadný systém by měl být Karteziánský (Horne & Garton 2009).

2.3.4 Home Range Extension a Home Range Tools

HRE je nástavbou pro ArcView 3.x, která byla vytvořena pro analýzu domácích okrsků živočichů. Tuto nadstavbu poskytuje CNFER (Centre for Northern Forest Ecosystem Research).

Program Home Range Tools (HRT) je novější verze HRE, která je určena pro ArcGIS 9.x. HRT taktéž rozšiřuje funkce softwaru ArcGIS o možnost analyzovat domovský okrsek živočichů. Pro prozkoumání dat slouží nástroj „Display travel“, který následuje trasu živočichu podle zaměřených bodů jeho pohybu. Z bodových dat je možné vypočítat průměrné vzdálenosti mezi body, rychlost pohybu, celkovou vzdálenost pohybu za určitý čas, polygony domovského okrsku (Rodgers & kol. 2007).

HRT obsahují 2 modely pro analýzu domovského okrsku – MCP a kernelovský odhad.

2.4 Příklady z praxe

Použití GIS k hodnocení okrsku a vhodného stanoviště pro vlka lesního (*Canis Lupus Lycaon*), Horní Peninsula, Michigan (Belongie 2008)

Cílem tohoto výzkumu bylo ohodnotit, zda v literatuře popsaná vhodná stanoviště pro vlka odpovídají těm, v kterých vlci reálně žijí. Belongie (2008) uvádí, že vlci jsou poměrně přizpůsobiví savci. Výběr jejich stanoviště je ovlivněn typem využití půdy – potřebují souvislé lesní plochy, dále hustotou kořisti, ale i hustotou silničního provozu a obyvatel.

Bylo zkoumáno území západní části Horní Peninsuly o rozloze asi 14 611 km² a 89 607 obyvateli. Oblast pokrývají lesy, většina studované plochy se nachází v Ottawa National Forest, který má rozlohu 150 km² (viz obr. 3).

Informace o domovském okrsku smečky byly získány ze dvou zpráv, které k ohodnocení okrsku smečky využily data nasbíraná radiotelemetrií za roky 2000-2005 (VHF telemetrií přímým sledováním ze země i z letadla), pomocnými daty byly záznamy zvukových projevů (vytí), živých odchytů či stop ve sněhu. Data byla zpracovaná metodou minimálního konvexního polygonu s tím, že polohy vzdálené více jak 5km od ostatních zaměřených dat byly vyřazeny (pokud to nebyl celá skupina vzdálených bodů). Takto ohodnocené domácí okrsky včetně záznamů o úmrtí a samostatných zaměřených poloh vlků byly naskenované a přenesené do ArcMapu. Georeferencí byly obrázky připojené k podkladové mapě území a silniční sítě. Všechny důležité prvky byly digitalizované do nových vrstev. Tím byl získán přehled o skutečném využití území.

Dále byly použity čtyři rastrové vrstvy pro analýzu vhodnosti stanovišť – krajinný pokryv, silniční hustota, populační hustota lidí a populační hustota kořisti (jelenů). Každý rastr byl podle určitých kritérií rozdělen do tříd vhodnosti pro výskyt vlka, a to číslovkou 1 (nejméně vhodné stanoviště), 2 (průměrně vhodné) nebo 3 (nejvíce vhodné). Třídy měly u jednotlivých rastrů následující podmínky:

1 = více jak 8 obyvatel /km²; více jak 0,701 km silnic/km²; rozsáhlé zemědělské plochy, městské oblasti, velká jezera, intenzivně využívané rekreační oblasti; cca 7 - 9 jelenů/km²

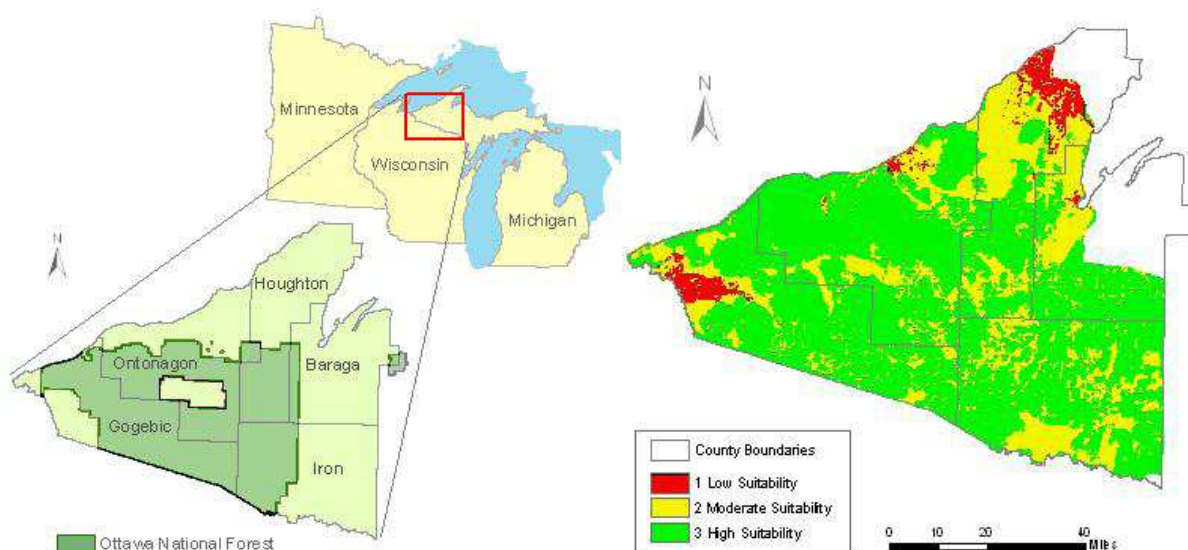
2 = 4 – 8 obyvatele/km²; 0,401 – 0,7 km silnic/km²; neopadavé porosty, zalesněné mokřady, lesy v nížinách; cca 9 - 24 jelenů/km²

3 = méně než 4 obyvatele/km²; méně než 0.4 km silnic/km²; smíšené a listnaté opadavé lesy; cca 24 – 40 jelenů/km².

Výsledný rastr nejvhodnějších stanovišť (na obr. 4) byl vytvořený pomocí funkce ArcGIS Spatial Analyst (použitím nástroje Single Output Map Algebra) spojením čtyř

výše uvedených rastrů. Byl reklasifikovaný na 3 třídy vhodnosti podle součtu hodnot ze 4 spojených rastrů (součet byl v rozpětí 3 – 12, místa se součtem 3 neměla uvedenou hodnotu v některé ze vstupních vrstev). Jako nejméně vhodná stanoviště byla hodnocena ta s výsledným rozpětím 3 -5, středně vhodná měla hodnoty 6 – 8 a nejvhodnější stanoviště měla hodnoty 9 – 12.

Nakonec byla srovnaná skutečná a teoreticky vytvořená stanoviště a bylo zjištěno, že ze studovaných okrsků vlků jich 57% bylo hodnoceno jako nejvhodnějších, 42% jako středně vhodných a méně jak 1% byla stanoviště s nejmenší vhodností.



Obr. 3: Znárodnění zájmového území
(Belongie 2008)

Obr. 4: Výsledná analýza vhodnosti
stanovišť (Belongie 2008)

Migrace a prostorové nároky jelenovitých, NP Šumava (Šustr & kol. 2007)

Účelem tohoto výzkumu bylo zjistit stavy jelena evropského a srnce obecného a jejich chování v souvislosti s ochranou lesa, který byl poškozen a obnovován po kůrovcové kalamitě. Zároveň byl zjišťován i výskyt jejich hlavního predátora rýsa ostrovida a na něho potravně vázané lišky obecné.

Pro sběr dat u jelena, a částečně srnce a rýsa byly využity obojky GPS s UHF terminálem (pro stahování dat na dálku) i VHF vysílačem (k vyhledání

jedinců v terénu). Speciální senzor ještě snímal aktivitu a teplotu okolí. Pro některé srnce a rysy byla použita i konvenční telemetrie. Nasbíraná data byla převedena do podoby shapefile a zobrazena v systému GIS, případně v programech Animal Movement i Telemtrie.

Byly vypočteny odhady domovských okrsků pomocí metody Minimálních konvexních polygonů ze 100% vstupních dat. Dále byl proveden výpočet i fixní kernelovskou metodou s 95% a 50% pravděpodobností výskytu.

Odhady úlovků kopytníků vlkem ve Skandinávii (Sand & kol. 2005)

Účelem výzkumu bylo zjistit predaci a pohyb vlků a zaznamenání všech zabíjených kopytníků - losa evropského (*Alces alces*) a srnce obecného (*Capreolus capreolus*) během 3 studovaných období ve 2 vlčích teritoriích. Testovali hypotézu, že vlci stráví 1 až 2 dny v blízkosti velké kořisti jako je los a z toho důvodu by měly být jedna až dvě zaměřené pozice dostatečné pro objevení všech větších úlovků.

Vytvořili 2 studie ve dvou teritoriích vlka v jižnější části Švédska a v jihovýchodním Norsku. S použitím stop ve sněhu byly nalezeni vlci pro odchyt. S pomocí uspávací pistole byly znehybněni, následně změřeni a zváženi a označeni na uchu. Podle zubů a stavby těla byl určen jejich věk a byl jim přidělán obojek s GPS přijímačem nebo s konvenčním VHF vysílačem.

Data byla sbíraná v prvním teritoriu od jednoho páru dospělých vlků ze dvou zim 2001 a 2002 (první zimu vlk měl GPS přijímač, vlčice VHF vysílač, druhou zimu měli oba stejný GPS přijímač) a v druhém teritoriu od jedné smečky během jedné zimy 2002 (samice získala jednotku GPS, samec VHF obojek), GPS obojky byly naprogramované pro sběr dat každou hodinu během studovaného období (zimy) a 2-6 pozic za den po zbytek roku. Pro zimu 2002 byl zaměřovací čas obojků páru z 1 teritoria posunutý o 30 minut (takže bylo možné získat pozici páru 48x /den). Data se ukládala do vnitřní paměti (souřadnice, datum, čas, počet satelitů zaměřujících pozici). Jednou za týden byla data stažena ze země přes VHF signál

Stažené pozice byly vykresleny v metrickém systému v programu ArcView 3.2. každá pozice byla opatřena nárazníkovou zónou (bufferem) – data z 1. teritoria 50m bufferem, z 2. teritoria 100m zónou. Překrývající se buffery byly sjednocené a definované jako shluky označené číslem. V oblasti těchto shluků pak byly hledání ulovení kopytníci.

Aplikování ArcView Animal Movement Analysis Extension jako nástroj monitorování pohybu slonů, Afrika, severní Kamerun (Fogueken & kol. 2007)

Za pomoci AMAE byl dělán průzkum pohybu dvou sloních samic ze dvou národních parků v Kamerunu. Účelem bylo zmonitorovat pohyb dvou samostatných slonů afrických (*Loxodonta africana*), aby bylo možné určit místa, která navštěvují, určit jejich migrační trasy a stanovištní nároky. Cílem projektu bylo zabránit jejich konfliktu s člověkem, vyvinout plány managementu, určit vhodné způsoby využití půdy a zvýraznit území vyžadující ochranu. Data byla nasbírána pomocí satelitní telemetrie a systému Argos a zpracována v ArcView Animal Movement Analysis Extension. Byly využity tři skupiny dat: mapy Kamerunu, Čadu a národních parků, terénní data – zaměřené pozice slonic (datum, čas, zeměpisná šířka a délka) a vegetační kryt.

K hodnocení domovského okrsku byly využity metody MCP i kernelovský odhad hustoty. Metoda MCP byla provedena s odstraněním 5% okrajových bodů. Po znázornění výsledků se zjistilo, že první slonice se ve svém národním parku téměř nevyskytuje (při 95% MCP její domovský okrsek nezasahuje park vůbec), oproti tomu druhá slonice se na území svého parku vyskytuje většinu času, ale občas překračuje hranici do sousedského Čadu, kde je ohrožena pytláky.

Pomocí statistických funkcí v AMAE ještě byly zjištěny informace, jako je minimální, průměrná či maximální rychlost přesunu nebo vzdálenost mezi dvěma zaměřenými polohami

*Analýzy stanoviště a studium chování gorily horské (*Gorilla beringei beringei*) v oblasti pohoří Virunga v Africe (Steklis & kol. 2005)*

Vědci nejprve získali podkladové analogové mapy zájmového území. Podle této mapy v prostředí GIS ručně digitalizovali každou vrstevnici, čímž získali trojrozměrný model terénu. Vytáhli taktéž hlavní silnice, hranice států a národního parku, hydrologické poměry a další důležité prvky. Ze satelitního snímku družice Landsat z roku 2003 vytvořili vegetační mapu území. Dále byla pomocí GPS přijímačů zaznamenávány data - denní pohyb goril, pytlácká aktivita, hranice parku a další významné objekty v území. Všechna data byla zpracována v rámci GIS s cílem porozumět změnám chování goril a jejich vztahu s prostředím, dále určit dopady pytláctví a ničení přirozených stanovišť na jejich početnost.

DISKUZE

Jak uvádí Kernohan & kol. (in Millsbaugh & Marzluff 2001), porozumění uspořádání živočichů v čase a prostoru je jedním z ústředních zájmů ekologie. Populační dynamiky jsou přímo spojené s prostorovým uspořádáním a pohybem živočichů způsobených vnitřními či vnějšími tlaky na populaci. Nejlepším nástrojem pro pochopení pohybu a využití prostoru živočichy by sice bylo jejich nepřetržité přímé pozorování, ale tento postup není prakticky reálný kvůli časové a pracovní náročnosti, velkému rozptylu živočichů či jejich skrytému způsobu života. Navíc by docházelo velkému rušení živočichů, což by vedlo ke zkresleným údajům o jejich rozmístění.

Náhradním a nejvhodnějším řešením je zaměření živočicha prostřednictvím radiové telemetrie. Pomocí ní ekologové můžou získat velké množství dat o výskytu jakýchkoli savců, na které je možné upevnit vysílačku.

Za spolupráce mnoha nástrojů geografických informačních systémů, díky kterým je možné kombinovat velké množství různých druhů dat, je pak poměrně snadné zpracovávat telemetrická data formou důležitých a jinak náročných ekologických analýz týkajících se pohybu živočichů či způsobu využití prostoru.

Na druhou stranu ale zaměřené polohy živočichů nemusí být přesné (především u satelitní telemetrie) a můžou být ovlivněné reliéfem, vegetačním krytem i počasím. Navíc není vyloučené ani selhání vysílače či přijímače, kdy se údaje o poloze živočicha vůbec nezaznamenají. Nasbíraná data tedy mohou být zkreslená.

Přesnost následných analýz pak kromě přesnosti zaměřených dat závisí i na výběru použitých metod. Například při odhadech domovského okrsku se jako nejspolehlivější jeví nasbírání dat pomocí GPS telemetrie a jejich následné zpracování metodou kernelovských odhadů hustoty.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce by měla být obecnou literární rešerší. Měla by podávat všeobecný ucelený obraz o možnostech, které ekologům poskytují geografické informační systémy ve spolupráci s globálním polohovým systémem a telemetrií.

Na tuto práci bych ráda navázala vlastním výzkumem v diplomové práci. Diplomová práce by měla být zaměřena na konkrétní metodiku sběru dat určitého druhu savců a následné vlastní zpracování těchto dat za účelem ohodnocení efektivnosti a spolehlivosti zde popsaných analytických postupů.

LITERATURA:

- ANDREWS R. D., 2009: Tracking Marine Mammals over the Seas and under the Waves. *Argos Forum* 68 (10): 6 – 8.
- ARCDATA PRAHA 2010: ArcData Praha. Geografické informační systémy. ESRI, online: <http://www.arcdata.cz/uvod/>, cit. 20.3.2010
- ARGOS, 2008: Argos user's manual. Online: <http://www.argos-system.org/manual/index.html#home.htm>, cit. 10.4.2010
- AUGUST P., BAKER C., LABASH CH. & SMITH CH.: The Geographic Information System for Storage and Analysis of Biodiversity Data. Kap. 11. In WILSON D. E. (Ed.), 1996: *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press, USA. 409 s.
- BAJAJ R., RANAWEERA S. L. & AGRAWAL D. P., 2002: GPS: Location - Tracking Technology. *Computer* 35 (4): 92 – 94.
- BEGON M., HARPER J. L. & TOWNSEND C. R., 1997: *Ekologie. Jedinci, populace, společenstva*. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc. 949 s.
- BELONGIE C., 2008: Using GIS to Create a Gray Wolf Habitat Suitability Model and to Assess Wolf Pack Ranges in the Western Upper Peninsula of Michigan., *Papers in Resource Analysis, Volume 10*, Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press. 15 s.
- BOOTH B. & MITCHELL A., 2001: Getting start with ArcGIS. ESRI, USA.
- BUDD J. T. C.: Remote sensing techniques for monitoring land-cover. Kap 3. In GOLDSMITH F. B. (Ed.), 1991: *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman & Hall, London. 275 s.
- CLARKE K. C., McLAFFERTY S. L. & TEMPALSKI B. J., 1996: On Epidemiology and Geographic Information Systems: A Review and Discussion of Future Directions. *Emerging Infectious Diseases*. 2 (2): 85 – 92
- DOHERTY P., 2003a: Analysis of Radiotelemetry data.
- DOHERTY P., 2003b: Home range analysis.
- ECOLOGICAL SOFTWARE SOLUTION, 2004: *Biotas. Help & Manual*. ESS, 63 s.
- ESRI, 2007: *GIS Best Practices, GIS for Wildlife Conservation*. USA, ESRI. 48 s.
- FANCY S. G., PANK L. F., DOUGLAS D. C., CURBY C. H., GARNER G. W., AMSTRUP S. C. & REGELIN W. L., 1988: *Satellite Telemetry: A New Tool for Wildlife Research and Management*. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service, Resource Publication 172. Washington D.C., 61s.
- FOGUEKEN D., TCHAMBA M. N., MACALLISTER M., NGASSAM P. & LOOMIS M., 2007: Application of ArcView Animal Movement Analysis Extension as a tool

- for monitoring Elephant movement: preliminary results from northern Cameroon. *Pachyderm* 43: 29–35.
- FORTIN M.-J. & DALE M., 2005: *Spatial analysis – A Guide for Ecologists*. Cambridge university press, Cambridge. 365s.
- HAWTHORNE L. B., 2010: Geospatial modelling environment. online: <http://www.spatial ecology.com/>, cit. 20.3.2010.
- HEINING R. P., 2003: *Spatial data analyses: theory and practice*. Cambridge university press, Cambridge.
- HOOGE P. N., EICHENLAUB W. M. & SOLOMON E. K., 1999: *Using GIS to Analyze Animal Movements in the Marine Environment*. USGS.
- HOOGE P. N., EICHENLAUB B., 2000: *Animal movement extension to Arcview, ver. 2.0*. Alaska Science Center - Biological Science Office, U.S. Geological Survey. Anchorage, USA.
- HORÁK J., 2002: Prostorová analýza dat. online: <http://gis.vsb.cz/pad/index.htm>, cit 21. 2. 2010
- HORNE J. S. & GARTON E. O., 2006a: Selecting the Best Home Range Model: An Information Theoretic Approach. *Ecology* 87 (5): 1146 – 1152.
- HORNE J. S. & GARTON E. O., 2006b: Likelihood Cross-validation versus Least Square Cross-validation for Choosing the Smoothing Parameter in Kernel Home Range Analysis. *Journal of Wildlife Management* 70: 641 – 648.
- HORNE J. S., GARTON E. O., KRONE S. M. & LEWIS J. S., 2007: Analyzing Animal Movement Using Brownian Bridges. *Ecology* 88 (9): 2354 – 2363.
- HORNE J. S. & GARTON E. O. 2009: *Animal Space Use 1.3*. online: http://www.cnr.uidaho.edu/population_ecology/animal_space_use, cit. 20.4.2010
- JEDLIČKA K., 2007: Úvod do geografických informačních systémů. Online: <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm>, cit 11. 3. 2010
- JOHNSTON C. A., 1998: *Geographic Information Systems in Ecology*. Blackwell Science, London. 239 s.
- KAVANAGH B. F., 2009: *Surveying: Principles and applications*. Pearson education, London. 791 s.
- KERNOHAN B. J., GITZEN R. A. & MILLSPAUGH J. J.: Analysis of Animal Space Use and Movements. Kap. 5. In *MILLSPAUGH J. J. & MARZLUFF J. M. 2001: Radio Tracking and Animal Populations*. Academia Press, San Diego.
- LAVIER P. N., 2005: *ABODE. Kernel Home Range Estimation for ArcGIS, using VBA and ArcObjects*. User Manual. Department of fisheries and Wildlife Science. 62 s.
- LIM H.: Raster data. In SHEKAR S. & XIONG H. (Eds.), 2008: *Encyklopedia of GIS*. Springer, 1377 pp

- MOLLES Jr. M. C., 2008: Ecology. Concepts & Applications. Mc Graw – Hill, New York. 604 s.
- MOORCROFT P. R.: Animal Home Ranges. In JORGENSEN S. E. (Ed.), 2008: *Encyklopedia of Ecology*. Elsevier, Amsterdam. 3120 s.
- RAPANT P., 2006: Geoinformatika a geoinformační technologie. VŠU – TU, Ostrava. 513 s.
- ROBINSON K. P., TETLEY M. J. & MITECHELSON-JACOB E. G., 2009: The distribution and habitat preference of coastally occurring minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the outer southern Moray Firth, northeast Scotland. *Journal of Coastal Conservation* 13: 39 - 48
- RODGERS A. R.: Recent Telemetry Technology. In MILLSPAUGH J. J. & MARZLUFF J. M. 2001: *Radio Tracking and Animal Populations*. Academia Press, San Diego.
- RODGERS A. R., CARR A. P., HAWTHORNE L. B., SMITH L. & KIE J. G., 2007: Home Range Tools for ArcGIS. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Software Release Note 006
- ROUGHGARDEN J., RUNNING S. W. & MATSON P. A., 1991: What does remote sensing do for ecology. *Ecology* 72 (6): 1918 – 1922.
- SAND H., ZIMMERMANN B., WABAKKEN P., ANDREN H. & PEDERSEN H. C., 2005: Using GPS technology and GIS cluster analysis to estimate kill rates in wolf – ungulate ecosystems. *Wildlife Society Bulletin* 33 (3): 914 – 925
- SEAMAN D. E., POWELL R. A. 1996: An Evaluating of the Kernel density Estimators for Home Range Analysis. *Ecology* 77 (3): 2075 – 2085.
- SCHADT S., REVILLA E., WIEGAND T., KNAUER F., KACZENSKY P., BREITENMOSE U., BUFKA L., ČERVENÝ J., KOUBEK P., HUBER T., STANIŠA C. & TREPL L., 2002: Assessing the suitability of central European landscapes for the reintroduction of European lynx. *Journal of Applied Ecology* 39: 189 – 203.
- SCHWARZ C. J.: Migration and Movement – The Next Stage. In THOMSON D. L., COOCH E. G. & CONROY M. J., 2009: *Modelling Demographic Processes In Marked Populations*. 324 – 347.
- STAMPS J.: Habitat. In JORGENSEN S. E. 2008: *Encyklopedia of Ecology*. Volume three. Elsevier, Amsterdam. 896 s.
- STEKLIS H. D., MADRY S., STEKLIS N. G. & FAUST N. 2005: GIS Applications for Gorilla Behavior and Habitat Analyses. In *ESRI 2007: GIS Best Practices, GIS for Wildlife Conservation*. USA, ESRI. 48 s.
- ŠUSTR P., 2001: Contribution to computer-aided methods of animal tracking. Ph.D. Thesis. Jihočeská Univerzita, České Budějovice.

- ŠUSTR P., BUFKA L. & JIRSA A., 2007: Migrace a prostorové nároky jelenovitých (jelen lesní, srnec obecný) a jejich vliv na vegetaci a přirozenou obnovu lesa v oblastech výskytu původních druhů šelem (rys ostrovid) v centrální části NP Šumava. Výzkumný projekt VaV – SM/6/29/05, Správa NP a CHKO Šumava. 14s.
- TECHNOLOGIES FOR CONSERVATION AND DEVELOPMENT: Introduction to Tracking technology – GPS and GIS. Training Manual. 39 s.
- TOMÁŠEK V., 2009: Struktura biotopů využívaných v průběhu dne a velikost teritoria sýce rousného (*Aegolius funereus*) v Krušných horách. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita, Praha. 208 s.
- TOMKIEWICZ A. M. 1997: The effect of Argos system enhancements on wildlife tracking. Argos Newsletter 52. Online: http://www.argos-system.org/documents/publications/newsletter/nslan52/wildlife_tracking_en.html, cit.13. 4. 2010.
- TUČEK J., 1988: Geografické informační systémy, principy a praxe. Computer Press, Praha 1988. 424 s.
- VLASÁK P., 1986: Ekologie savců. Academia, Praha. 291 s.
- WALTERT M., MEYER B., SHANYANGI M. W., BALOZI J. J., KITWARA O., QOLLI S., KRISCHKE H. & MÜHLENBERG M., 2008: Foot Surveys of Large Mammals in Woodlands of Western Tanzania. *Journal of Wildlife Management* 72 (3): 603 - 610.
- WIKELSKI M., KAYS R. W., KASDIN N. J., THORUP K., SMITH J. A. & SWENSON G. W., 2006: Going wild: what a global small-animal tracking system could do for experimental biologists. *The Journal of Experimental Biology* 2007 (210): 181-186.
- WORTON B. J., 1987: A review of models of home range for animal movement. *Ecological Modelling* 38: 277 – 298.
- YAHNER R. H., 1980: Principles of mammalian ecology. *Mammalian Ecology and Management in Minnesota. A symposium on March 7 – 9 1980, Minnesota.* 79 s.