

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

**REALIZACE MODELU METAPOPLACE
ZALOŽENÉHO NA IFM V PROSTŘEDÍ
ARCGIS**
bakalářská práce

Autor:

Jan Vandrol

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Vojtek, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Vandrol**

Studijní program: B3646 Geodézie a kartografie

Studijní obor: 3646R006 Geoinformatika

Téma: Realizace modelu metapopulace založeného na IFM v prostředí
ArcGIS
Implementation of Model for Metapopulation Based on IFM in ArcGIS

Zásady pro vypracování:

Úkoly:

- Rešerše projektů, ve kterých byl využíván IFM jako prostředek pro predikci vývoje metapopulace živočišných druhů.
- Implementace IFM v podobě predikčního nástroje.
- Konzultovat dosažené výsledky s odborníkem na vývoj metapopulace malých živočichů doporučenými Agenturou ochrany přírody a krajiny.
- Dokumentace a hodnocení výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

MOILANEN, Atte. SPOMSIM: software for stochastic patch occupancy models of metapopulation dynamics. Ecological Modelling [online]. 2004, Volume 176, is. 4 [cit. 2009-09-18], s. 533-550. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.

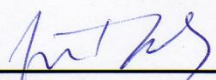
DOWNEY, Allen. Think Python : How to Think Like a Computer Scientist. 3rd Major revision edition. Needham, Massachusetts : Green Tea Press, 2008. 236 s. Dostupný z WWW: <<http://www.greenteapress.com/thinkpython/>>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vojtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 17.05.2010



doc. Dr.Ing. Jiří Horák
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval mému vedoucímu, panu Ing. Davidu Vojtkovi Ph.D. za pomoc při tvorbě této práce a pracovníkům Agentury Ochrany Přírody a Krajiny České republiky za odborné konzultace a poskytnutá data.

Anotace

Cílem této práce je vytvořit nástroj pro predikci vývoje metapopulací za účelem jejich ochrany a správy oblastí, ve kterých žijí. Následně pak tento nástroj implementovat do softwaru ArcGIS. Pro účel modelování metapopulací byla zvolena metoda zvaná IFM. V teoretické části jsou vysvětleny základní pojmy, vypsány další možné metody metapopulačního modelování a podrobně popsána teorie IFM. Praktická část se pak soustředí na vnitřní procesy nástroje nazvaného IORAS a dalších pomůcek, vytvořených pro usnadnění přípravy dat.

Klíčová slova: metapopulace, IFM, geoprocessing, nástroj ArcGIS, Python

Summary

The aim of this thesis is to create a tool for prediction of metapopulation development, for better protection of them and their habitats. Then, to implement this tool into the ArcGIS software. As a means of metapopulation modelling, the method known as IFM was chosen. The theoretical part describes basic terms, offers other ways of metapopulation modelling and closely describes the IFM theory. Practical part is dedicated to inner processes of the created tool, entitled IORAS, and other gadgets, designed to ease the preparation of data.

Keywords: metapopulation, IFM, geoprocessing, ArcGIS tool, Python

Autorské prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Při tvorbě nástroje byl využit skript pro výpočet konektivity, vytvořený Ing. Davidem Vojtkem Ph.D.
- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 17. 5. 2010

Jan Vandrol

Obsah

Úvod	1
1 Metapopulační ekologie.....	2
1.1 Přístupy k prostoru v ekologii.....	2
1.2 Vývoj metapopulační teorie	4
2 Základy modelování metapopulací	5
2.1 Levinsův model.....	5
2.2 Úpravy Levinových modelů	7
2.3 Další modely	8
2.4 Srovnání.....	9
3 IFM	12
3.1 Popis IFM.....	12
3.2 Extinkce	13
3.3 Kolonizace	14
3.4 Disperze a Konektivita.....	14
3.5 Rescue efekt	15
3.6 Základní Parametrizace	16
3.7 Moilanenova parametrizace	18
4 Programové vybavení.....	21
4.1 Programovací jazyk a vývojové prostředí.....	21
4.2 ArcGIS Desktop.....	21
5 Popis modelu IORAS.....	23
5.1 Vstupy modelů	23
5.2 Konfigurační soubor	26
5.3 Reklasifikační soubor.....	27
5.4 Příprava dat.....	28

5.5	Jádro výpočtu IFM.....	29
5.6	Výstup.....	30
6	Další nástroje.....	33
6.1	Import souřadnic.....	33
6.2	Parametrizace	34
7	Testování	38
8	IFM v praxi.....	39
8.1	Studie hnědáka kostkovaného	39
8.2	Testování IFM na hnědáku osikovém	40
8.3	SPOMSIM	42
	Závěr.....	43
	Seznam použité literatury	44

Seznam použitých zkratek

AOPK – Agentura Ochrany Přírody a Krajiny

ASCII – American Standard Code for Information Interchange

CHKO – Chráněná Krajinná Oblast

CML – Coupled Map Lattice

DEM – Digital Elevation Model

GDAL – Geospatial Data Abstraction Library

GIS – Geografický Informační Systém

GPS – Global Positioning System

GPL – General Public License

GUI – Graphical User Interface

IFM – Incidence Function Model

IORAS – Incidence Of Regions And Species

NetCDF – Network Common Data Form

SIS – Susceptible Infected Susceptible

SPOMSIM – Stochastic Patch Occupancy Model SIMulator

ÚVOD

Příroda v České republice i na celém světě nepřetržitě podléhá fragmentaci. Výstavba lidských sídel, komunikací, rekreačních oblastí atd. stále více zasahuje do doposud nedotčené přírody. Z původních rozsáhlých a bohatých habitatů se stávají osamělé ostrůvky, kde přežívají jen ty nejodolnější druhy. Toto ohrožuje nejen větší živočichy, ale především drobnou faunu, která nejčastěji vytváří metapopulace. Bylo prokázáno, že nejideálnější skupinou pro sledování změn jsou bezobratlí živočichové, kteří nejcitlivěji reagují na změny ve svém habitatu [1]. Zejména pro jejich záchranu se vyvinula řada modelů, které se snaží předpovědět budoucí vývoj jejich populací a případný dopad dalších změn v životním prostředí na šanci pro přežití jednotlivých metapopulací.

Mohutný rozvoj a dobrá kvalita geoinformačních systémů (dále jen GIS) nám v dnešní době umožňuje mnohem lépe a přesněji zachytit stav ekosystému prostřednictvím programů a modulů zahrnující ekologické modely. Pokud tento trend bude pokračovat, stanou se GIS hlavním médiem pro ukládání, výpočet a vizualizaci dat v oblasti ochrany životního prostředí.

Jedním z používaných druhů modelů je i model výskytu, neboli *incidence function model* (dále jen IFM). Tento model, těšící se vysoké popularitě, vyvinul profesor Ilkka Hanski [2], jehož teorie byla využita i při vytváření skriptu, který je součástí této práce.

1 METAPOPULAČNÍ EKOLOGIE

Ať již vlivem lidské činnosti nebo i přírodními vlivy jsou habitaty, vhodné pro přežívání studovaných živočichů, často roztrženy do fragmentů uvnitř většího území. Živočichové i rostliny, žijící na takových územích, pak mohou vytvářet takzvané metapopulace, což je soubor lokálních populací, nazývané též subpopulace, které mezi sebou interagují migrujícími jedinci. [3]

Tyto interakce jsou vysoce důležité, jelikož umožňují například výměnu genetické informace mezi jednotlivými subpopulacemi. Malé, izolované subpopulace jsou ve velkém ohrožení genetické eroze [4]. Malý počet jedinců vede k příbuzenské plemenitbě, což má za následek snížení délky života, větší náchylnost k nákazám a další negativní vlivy. Takto postižené kolonie nemají téměř žádnou naději na přežití. I větší metapopulace, které nemají žádný externí přísun jedinců, jsou postupem času odsouzeny k zániku [2]. Tento externí přísun se uskutečňuje zpravidla formou takzvané pevninské populace (angl. Mainland population), kdy alespoň jeden metapopulační fragment je v dostatečné blízkosti velkého území s vlastní populací jedinců, odkud pak mohou migrovat na území metapopulace.

Tyto problémy sebou přinesly nutnost nových ekologických teorií, disciplín a nástrojů, zabývajících se jak jednotlivými druhy živočichů, tak i rozmístěním vhodných habitatů v prostoru, které by napomáhaly při ochraně populací a plánování chráněných oblastí.

1.1 Přístupy k prostoru v ekologii

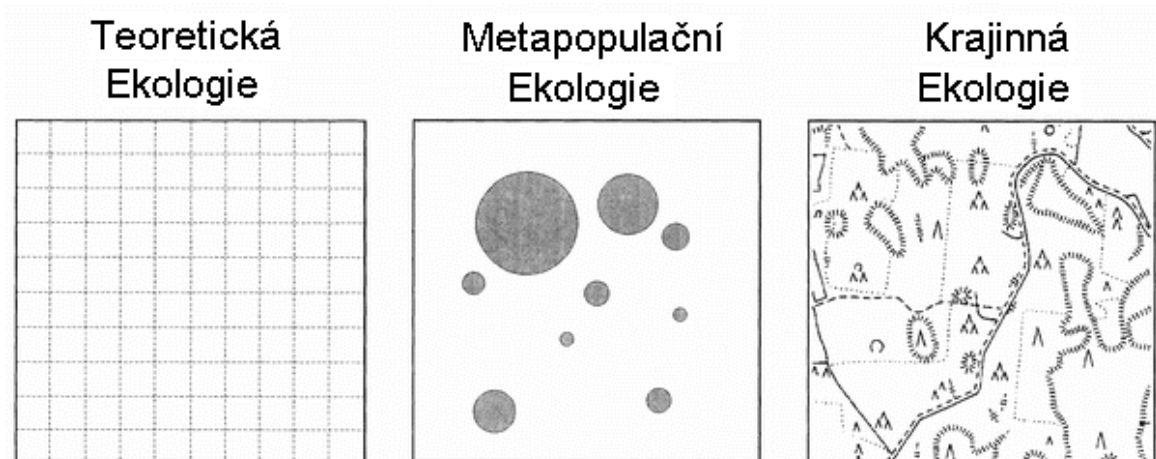
Prostorová složka se vyskytovala již v některých prvních modelech popisujících populační ekologii, genetiku a adaptivní evoluci. Většímu významu se ale prostorová struktura a její implikace těší až v posledním desetiletí. [5]

Vzájemné interakce v prostoru a potenciální ztráty habitatů jsou nyní stavěny na stejně významnou výpovědní úroveň, jako například průměrná délka života. Hanski [2] [5] definuje tři základní přístupy, které se pro prostor v ekologii používají:

Teoretická ekologie byla vůbec prvním pokusem o pochopení populační dynamiky a z největší části nepracuje s prostorovým rozdělením prostředí. Soustředí se na modelování lokálních interakcí a prostředí považuje za homogenní. Zabývá se hlavně základními procesy, které jsou nutné k přežití druhu, což zahrnuje populační rivalitu, predátorství, zdroje potravy, a další. Tento způsob pohledu na populační dynamiku může přinášet velmi zajímavé výsledky, dostačující pro mnoho účelů. Jediným omezením je, že v sobě nezahrnuje heterogenitu prostředí.

Krajinná ekologie je pravým opakem teoretického přístupu. Snaží se do detailu popsat populační procesy v reálném životním prostředí. Populace jsou stále ovlivněny stejně jako v teoretické ekologii, ale jsou zde zahrnuty veškeré vlastnosti terénu, takže se může například stát, že i když je zdroj potravy velmi blízko, členitost terénu neumožní jedincům se k němu dostat. Takovéto modely jsou pak ale vysoce komplexní, vyžadují dlouholeté sledování, podrobné studie populace a jejich výsledky jsou specifické pouze pro danou oblast. Vhodné jsou především pro dlouhodobě sledovaná významná území

Metapopulační ekologie se snaží být jakýmsi kompromisem mezi krajinnou a teoretickou ekologií. Jak bylo již dříve řečeno, vnímá životní prostředí sledovaného druhu jako soubor fragmentů vhodných habitatů, mezi kterými jedinci volně migrují. Je třeba ale znát populační strukturu druhu, jelikož někteří živočichové mohou být vůči hranicím potencionálních habitatů více tolerantní, což způsobí jejich volnější rozmístění na území, a to pak snižuje přesnost výsledků studií.



Obr. 1 Přístupy k prostoru podle Hanskeho [5]

1.2 Vývoj metapopulační teorie

Teoretický přístup k populacím byl kritizován, jelikož výsledky jeho modelů často naznačovaly, že interakce mezi živočichy vedla k vymření jednoho i více druhů zapojených do simulace, a popřípadě i vymizení predátorů závislých na těchto jedincích. Pozorování přírody však jasně ukazuje, že různé populace živočichů spolu mohou koexistovat. To vedlo k novému návrhu rozdělení populací na mnoho menších skupin, kdy jedna skupina by mohla vymřít, ale jejich území by následně bylo kolonizováno jedinci z okolních území. Bohužel tato teorie začala být uznávána až v druhé polovině dvacátého století, kdy profesor **Richard Levins** definoval základy pro metapopulační modelování, které v současné době používáme. Levins byl také prvním, kdo použil pojem metapopulace. Definoval ji jako populaci populací, existující v rovnováze mezi lokálním vymřením a kolonizací. [6]

2 ZÁKLADY MODELOVÁNÍ METAPOPOPULACÍ

Modelování je jediný způsob (kromě expertního odhadu), kterým lze alespoň částečně nastítnit budoucí vývoj metapopulací. První model pro metapopulace vytvořil Levins již v šedesátých letech minulého století. Od té doby teoretické znalosti značně pokročily a s nimi i způsob, jakým vývoj metapopulací predikujeme. Mnohé modely ovšem stále vycházejí z původních poznatků Levinse a i když existuje několik velmi komplikovaných modelů, je třeba si uvědomit, že méně je někdy více. Levinsův model a jeho alternativy se daly použít pro většinu metapopulací, zatímco čím komplikovanější se některé modely staly, tím více specifické jsou pro určitý druh živočichů, okolností, popřípadě vyžadují značné množství měření pro výpočet. Pro všechny ostatní situace se jejich přesnost snižuje. To bývá problémem v případech, kdy není živočišný druh dobře prostudován nebo jej není možné dobře monitorovat, popřípadě na podrobnější studii není dostatek času.

Jako příklad si lze představit výstavbu nové dálnice přes území, na kterém se metapopulace vyskytuje. Území, která nejsou přísně chráněna, většinou nebývají řádně monitorována, a proto není dostatek dat pro robustnější modely. Na druhou stranu je vhodné omezit dopad na živočichy na minimum a zde naleznou jednodušší modely své uplatnění. Mohou nám mimo jiné nastítnit, které fragmenty území nejsou pro přežití druhu podstatné, a naopak, které by měly zůstat zachované.

IFM je právě jeden ze skupiny jednodušších modelů. Pro jeho výpočet stačí pozorování pouze jednoho reprodukčního cyklu živočicha a několik parametrů, týkající se migračních a kolonizačních vlastností druhu. Před popisem samotného IFM je třeba zmínit původní model, který vedl k jeho vzniku a jeho následný vývoj.

2.1 Levinsův model

Levins vytvořil vůbec první model pro vývoj metapopulací. Tento model a jeho alternativy dlouho sloužily pro simulace metapopulací. I dnes z některých jeho principů většina modelů, IFM nevyjímaje, čerpá. Základní předpoklady v tomto modelu jsou [7] [6] [2]:

- Neexistuje žádné prostorové rozdělení. Fragmenty nemají určenou pozici, takže se nebere v potaz prostorová korelace. Obecně se předpokládá, že území jsou od sebe ve stejné vzdálenosti a jsou stejně velká.
- Pro odstranění stochasticity se pracuje s nekonečně velkým souborem fragmentů.
- Veškeré subpopulace jsou naprosto stejné, neodlišují se svou lokální dynamikou.
- Lokální dynamika se odehrává z hlediska metapopulace tak rychle, že je v modelu ignorována. Pouhé dva procesy se odehrávají lokálně: vymření a kolonizace.
- Migrující jedinci si nová území pro kolonizaci vybírají zcela náhodně.

V tomto modelu lokální populace vznikají a zanikají na nekonečném počtu fragmentů habitatu. Každá subpopulace má fixní šanci na vymření e , šance na opětovnou kolonizaci je dána počtem okupovaných území p a kolonizačním parametrem c . [3]

$$\frac{dp}{dt} = cp(1 - p) - ep$$

Rov. 1 Rovnice pro Levinsův model

Výstupem modelu je pak poměr mezi kolonizovanými dp a prázdnými dt územími. Také nám ukazuje základní metapopulační koncept: metapopulace může globálně existovat, i když je vymření určitých oblastí zcela jisté. Obecně je jasné, že pokud bude kolonizace častější než extinkce, metapopulace se bude zvětšovat a naopak. Z toho vyplývá vysoká závislost modelu na zvolených parametrech. Pokud bude parametr e větší, než parametr c , metapopulace postupně vyhyne. To zobrazuje i vzorec rovnováhy modelu. [7]

$$p^* = \begin{cases} 0 & R_0 \leq 1 \\ 1 - R_0 & R_0 > 1 \end{cases} \quad \text{Přičemž} \quad R_0 = \frac{c}{e}$$

Rov. 2 Rovnovážný stav Levinsova modelu

Levins se v tomto nechal inspirovat tehdejšími epidemiologickými modely, které měly již v té době dlouhou tradici a velké množství uskutečněných výzkumů. Jeho model je v podstatě SIS model pro nakažlivé nemoci se speciálními podmínkami, kdy jedinci nejsou schopni pro danou nákazu získat imunitu a jejich počet v modelu zůstává konstantní. Při bližší studii je nutné uznat, že epidemiologie a metapopulační ekologie má mnohé společného. Obě teorie počítají s určitým počtem unikátních entit, které poskytují vhodný habitat pro sledovaný fenomén. Ten v obou případech může kolonizovat nové entity, popřípadě ve starých vymizet. Jako další příklad může posloužit epidemiologická teorie prahové hodnoty, kdy nákaza musí mít určitý počet nositelů, než může propuknout epidemie. To samé platí pro koncept minimální velikosti populace v metapopulační ekologii. Proto se také v moderních modelech začínají kombinovat postupy z obou vědeckých oblastí. [2]

2.2 Úpravy Levinových modelů

Vědecké poznatky se v dalších desetiletích nadále prohlubovaly, s čímž přišla nutnost upravit původní model tak, aby vyhovoval nově zjištěným skutečnostem. Postupně vznikla spousta nových verzí, které se snažily vymanit z původních předpokladů, na kterých Levinsův model operoval z důvodu jejich nepraktičnosti v dnešní době. Typy metapopulace a modely snažící se je popsat, se například rozdělily podle distribuce fragmentů v krajině [6]:

- **Mainland - Island** metapopulace je v oblastech, kde existuje jeden velký fragment, kterému se také říká zdroj a mnoho menších fragmentů v blízkosti, což jsou takzvané jímky. Zdroj produkuje velké množství jedinců, kteří následně migrují do menších fragmentů.
- **“Patchy” populace** je typem metapopulací, které jsou v místech se sítí dobře propojených malých fragmentů. Nejlépe propojené fragmenty ve středu území jsou centrem migrace, což jim snižuje hrozbu na vymření, zatímco okrajové subpopulace jsou v konstantním riziku zániku.
- **Izolované populace** existují na velmi malém množství velkých fragmentů, které jsou od sebe vzdálené, což snižuje migraci jedinců.

Dále se vytvořily varianty modelu, které v sobě zahrnovaly nově popsané fenomény:

- **Rescue efekt** je případ, kdy je šance na vymizení subpopulace snížena přílivem jedinců z blízkých fragmentů. To platí zejména pro velmi dobře propojená území. Pokud jsou fragmenty blízko sebe, je zde velká pravděpodobnost, že jedinci, kteří by normálně při migraci zahynuli, přežijí a podpoří růst lokální populace. [8]
- **Alee efekt** popisuje fakt, že subpopulace s menší hustotou osídlení rostou mnohem pomaleji, než v hustě obydlených oblastech. To může být dáno například zvýšenou délkou hledání partnera pro páření nebo malého zastoupení jednoho z pohlaví. [6]

Jako nejvýznamnější vylepšení Levinsova modelu by se dal uvést **Strukturní metapopulační model**. Ten do simulace zahrnuje lokální dynamiku a již nepopisuje pouze obměnu množství okupovaných území v jednotlivých iteracích, ale také změnu distribuce velikostí jednotlivých subpopulací. Tímto se stává vhodnější pro studium vlivu migrace na celkovou dynamiku metapopulace. [2]

2.3 Další modely

Levinsův přístup k výpočtu dynamiky metapopulací ovšem nebyl jediný. Vedle této simulace uvádí Hanski [2] další dvě základní metody. První z nich jsou takzvané **dvoupopulační modely**. Ty jsou rozšířením jednopopulačních modelů, které se snažily popisovat dění uvnitř lokální populace na jediném fragmentu. Rozšířením na dva fragmenty se otevřela možnost simulovat vzájemné migrační ovlivňování subpopulací. Tento typ modelu se i nadále rozvíjel a v dnešní době se často používají **n-populační modely**, které pracují s jakýmkoli počtem fragmentů. Toto sebou ale přináší problém. Čím více fragmentů je, tím hůře se hledají správné hodnoty vstupních parametrů a obtížněji se testuje jejich výpovědní hodnota.

Druhý typ modelu se nazývá **mřížkový**, což je v podstatě celulární automat. Jednotlivé habitaty jsou vloženy do mřížky a podle počtu kolonizovaných sousedních buněk se zjišťuje, zda bude centrální buňka taktéž kolonizována. Stav buněk mohou být

buď dva (prázdný/kolonizovaný) nebo se také dají vyjádřit spojitě, což se využívá v takzvaných CML modelech.

2.4 Srovnání

Každý z těchto modelů jakýmsi způsobem ovlivnil, a zcela jistě ještě ovlivní, další vývoj simulace metapopulací. Pracují ale zcela jinak, a proto by bylo vhodné si je navzájem porovnat. V první tabulce je zobrazen jejich přístup k prostoru a velikosti metapopulace tak, jak je popsal Hanski [2]. Je v ní také obecně ukázán vztah ke složitějším modelům, které zde byly zmíněny.

Vývoj metapopulačních modelů			
Počet fragmentů	Přístup k prostoru		
	Implicitní	Explicitní	Realistický
Dva	Dvoupopulační model		
Mnoho		Mřížkový model	<u>n-populační modely</u> IFM
Nekonečně	↳ Levinsův model ↳ Strukturní model		↑

Další Hanskeho [2] srovnání se více zaměřuje na vlastnosti jednotlivých modelů. Porovnává základní tři modely z hlediska jejich schopnosti co nejlépe simulovat jednotlivé metapopulace. V závorce jsou pak uvedeny výjimky pro vylepšené modely, zařazené podle původu jejich vzniku pod původní modely.

Srovnání metapopulačních modelů

Atributy modelu	Dvoupopulační modely	Levinsovy modely	Mřížkové modely
Počet fragmentů	dva (mnoho ¹)	nekonečně mnoho	mnoho
Rozdílná velikost a kvalita fragmentů	ano	ne (ano ²)	ne (ano ³)
Prostorové rozlišení	ne (ano ¹)	ne	ano
Různé velikosti časových intervalů	ne	dva (ne ²)	ne
Podrobná lokální dynamika	ano	ne (ano ²)	ne (ano ⁴)
Stochasticky modelovaná extinkce a kolonizace	ne (ano ¹)	ano	ano
Výpočet vedlejších analytických indikátorů	ano (ne ¹)	ano	několik
Možnost srovnání výsledků s realitou	ano	omezeno	ne (ano ³)

1 pro n-populační simulace

2 pro strukturní modely

3 pro IFM

4 pro CML modely

Původní tři modely sebou do výzkumu metapopulací přinesly nové myšlenky a způsoby pohledu na metapopulační simulace. Dvoupopulační model například velmi dobře demonstroval, jak silně a nečekaně může migrace ovlivnit lokální populace. V některých případech může subpopulace vymřít pouze kvůli velmi vysoké emigraci, která převyšuje příliv jedinců migrací a rozmnožováním. Na druhou stranu pouhá skutečnost, že je na fragmentu přítomná populace jedinců ještě neznamená, že je oblast vhodná pro pozorovaný druh. Mohou se zde vyskytovat jen díky imigraci z okolních území. [2]

Hlavním přínosem mřížkových modelů bylo, že pokud jsou fungující lokální populace prostorově omezeny v pohybu a vzájemném působení, mohou z jednoduché dynamiky vznikat velmi komplexní struktury. Také, stejně jako u předchozího modelu, ze simulací vyplývá, že přítomnost nebo absence lokální populace s jistotou neurčuje kvalitu životního prostředí na fragmentu. [2]

Na závěr ještě několik slov o panu Levinovi a jeho modelu. Levins, jak již bylo řečeno, se zasloužil vůbec o základní definici metapopulací, jakožto souboru samostatně

fungujících subpopulací, které by se v normálních populacích daly zaměnit za jedince. Podmínka pro jejich přežití byla definována jako síť prázdných nebo kolonizovaných habitatů, ze kterých se jedinci šíří. Tím také určil minimální předpoklady pro existenci metapopulace. Podíváme-li se na původní vzorec modelu, jsou to parametry pro kolonizaci a vymření, které se dají vyjádřit strukturou sledovaného území (velikost fragmentů, jejich hustota atd.). [2]

3 IFM

Jedna z častých otázek, na které jsou dnešní ekologové a biologové nuceni odpovídat je, zda je živočišný druh schopen přežít v podobě metapopulace na určitém fragmentovaném území. Ještě častěji pak musí posuzovat, zda je metapopulace schopna přežít, pokud jí odebereme nebo zmenšíme určitá území. Pokud se pak budou snažit odpovědět na tyto otázky pomocí simulací vývoje metapopulace, čeká je problém. Většina modelů je zaměřena na posouzení rovnováhy mezi kolonizačními a extinkčními jevy na metapopulačním území, čímž zjišťují stav samotné metapopulace. Tím pádem v sobě nezahrnují prostorovou informaci pro jednotlivé fragmenty, což je pro tuto situaci nezbytné. Pokud použijeme stochastické modely území, můžeme získat přibližný počet a velikost fragmentů nutných pro dlouhodobé přežití druhu, ale opět nezískáme informaci o jejich poloze. Prostorové metapopulační modely je velmi složité navrhnout. Většina existujících je zatížena nepružnými předpoklady nebo složitým odhadem parametrů. IFM se snaží zaplnit tuto mezeru. Je to velmi jednoduchý model, vyžadující minimum informací o sledovaném druhu a pouze jeden průzkum v terénu. [9]

3.1 Popis IFM

Tento model zobrazuje takzvaný “Patchy“ typ metapopulace, který zde byl již zmíněn. To znamená, že neexistuje žádná rozsáhlá plocha (mainland), která by zaručovala velkou obměnu jedinců, a znemožnila tak degeneraci genetického kódu. Existuje pouze soustava menších fragmentů, mezi kterými jedinci migrují. Metapopulace je tak s největší pravděpodobností odsouzena k záhubě, ale do té doby bude velmi dlouho přežívat v **rovnovážném stavu**, kdy efekty vymření lokálních populací a následná opětovná kolonizace fragmentu se vzájemně negují. [9]

IFM přejímá Levinsův předpoklad, že dynamika lokálních populací (např. jejich velikost) se odehrává velmi rychle v porovnání s dynamikou celé metapopulace (kolonizace, extinkce). Tímto předpokladem ignoruje lokální dynamiku a soustředí se pouze na přítomnost nebo absenci jedinců na fragmentu. Dále předpokládá, že se tyto jevy odehrávají v diskrétních časových intervalech. To mohou být například roky nebo délky

reprodukčních cyklů sledovaného druhu. Pokud je fragment i prázdný v roce t , bude v roce $t+1$ kolonizován s pravděpodobností C_i , a pokud je již kolonizovaný, v následujícím roce jedinci vymřou s pravděpodobností E_i . Stálou pravděpodobnost, že je území i zaplněno, pak nazveme J_i . To je takzvaná funkce výskytu (incidence function). [2] [8] [9]

$$J_i = \frac{C_i}{C_i + E_i}$$

Rov. 3 Základní rovnice IFM

Toto je IFM. Výpočty jednotlivých hodnot a předpovídání změn jednotlivých pravděpodobností podle měřitelných charakteristik území a vlastností druhu, jsou jeho hlavní součástí.

3.2 Extinkce

IFM předpokládá, že všechny fragmenty jsou stejné kvality a mají stejnou hustotu jedinců. Vyloučením lokální dynamiky ze simulace se nám velikosti populací, které jsou významné z hlediska produkce nových jedinců, vážou pouze na velikost fragmentu A_i . Extinkce lokální populace je z velké části závislá na velikosti populace. Proto v případě IFM je vyjádřena jako funkce velikosti fragmentu: [9]

$$E_i = \begin{cases} \frac{e}{A_i^x} & A_i > e^{\frac{1}{x}} \\ 1 & A_i \leq e^{\frac{1}{x}} \end{cases}$$

Rov. 4 Výpočet extinkce pro IFM

Ze vzorce vyplývá, že pravděpodobnost na vymření bude stoprocentní, pokud je velikost fragmentu menší nebo rovna $e^{1/x}$. Toto je takzvaná kritická oblast, která nepodporuje životní nároky sledovaného druhu a kolonie jedinců na ni nikdy nemůže vzniknout. [2]

Konstanta e tedy popisuje velikost kritické oblasti, zatímco x dělá vzorec pružnější pro popsání závislosti rizika vymření na velikosti fragmentu a potažmo i populace. Pokud je x větší než jedna, pak od určité velikosti fragmentu bude pravděpodobnost velmi nízká.

V opačném případě budou extinkcí ohroženy i poměrně velké lokální populace. Dá se říci, že konstanta ukazuje míru environmentální stochasticity. [9]

3.3 Kolonizace

V IFM je kolonizace vyjádřena jako funkce množství imigrantů na jednotlivé fragmenty za jednotku času. Původní rovnice vytvořená Hanskim [2] v sobě zahrnuje kolonizační Allee efekt:

$$C_i = \frac{S_i^2}{S_i^2 + y^2}$$

Rov. 5 Kolonizační pravděpodobnost s Allee efektem

Další alternativa předpokládá, že imigrující jedinci kolonizují fragment nezávisle na sobě (tzn. bez Allee efektu) a může se hodit pro některé druhy zvířat a hlavně rostliny, které migrují pasivně. O tom, kterou rovnici použít, rozhodují migrační a kolonizační vlastnosti sledovaného druhu. [8]

$$C_i = 1 - \exp(-yS_i)$$

Rov. 6 Kolonizační pravděpodobnost bez Allee efektu

V těchto rovnicích představuje S konektivitu fragmentu a bude dále rozebrána níže. Parametr y pak určuje, do jaké míry se s rostoucí konektivitou pravděpodobnost úspěšné kolonizace blíží jedné.

3.4 Disperze a Konektivita

Disperze je základním komponentem IFM. Rozptyl jedinců při migraci v závislosti na vzdálenosti dvou fragmentů je to, co IFM dělá prostorovým modelem. Vzorec pro něj uvádí Hanski takto: [2]

$$D(d_{ij}, \alpha) = \exp(-\alpha d_{ij})$$

Rov. 7 Rovnice pro výpočet disperze

Kde d_{ij} je vzdálenost mezi fragmenty i a j . Parametr α pak určuje šanci jedinců na přežití migrace pro danou vzdálenost. Jinými slovy popisuje, jak vzdáleností od ostatních oblastí roste izolovanost fragmentu.

Konektivita je součtem všech jedinců, migrujících na fragment, pro který je počítána. Tato suma se zjišťuje obohacením disperze o velikost okolních fragmentů (populací) a parametrem p , který udává přítomnost ($p = 1$) nebo absenci ($p = 0$) kolonie na sousedním fragmentu.

$$S_i = \sum_{j \neq i} \exp(-\alpha d_{ij}) A_j p_j$$

Rov. 8 Vzorec pro kalkulaci konektivity

Pokud je ve studované oblasti velká variace kvality fragmentů a tím je výrazně (nejlépe lineárně) ovlivněna hustota subpopulací, je možné, jak v tomto výpočtu, tak i u extinkce, vynásobit plochu dalším parametrem. Ten by vyjadřoval relativní hodnotu kvality fragmentu. Tato varianta je už ale mnohem náročnější na průzkum v terénu a nepoužívá se tak často. [9]

3.5 Rescue efekt

Již zde byla uvedena možnost, jak zohlednit Allee efekt ve výpočtech. Rescue efekt, jakožto další významný modifikátor metapopulační dynamiky, se do modelu zakomponovat dá také. Vzhledem k tomu, že jde o snížení extinkční pravděpodobnosti díky zvýšené migraci, je vzorec pro vymření modifikován takto: [2]

$$E_i = (1 - C_i) E_i$$

Rov. 9 Úprava extinkční pravděpodobnosti pro zahrnutí Rescue efektu

Tímto se výsledná rovnice IFM změní na:

$$J_i = \frac{C_i}{C_i + E_i - C_i E_i}$$

Rov. 10 Základní vzorec FIM s rescue efektem

Jelikož pro každý druh se může síla efektu lišit, Moilanen [8] uvádí další variantu, která toto zohledňuje. Nepoužívá se ale příliš často, jelikož potřebný parametr většinou není známý. Na druhou stranu je vzorec mnohem obecnější. Dosazením nuly lze rescue efekt odstranit a po dosazení jedničky vzniká původní Hanskeho varianta. Proto je vhodný pro použití v počítačových modelech.

$$E_i = (1 - C_i)^R E_i$$

Rov. 11 Přidání hodnoty síly rescue efektu

3.6 Základní Parametrizace

Jak již bylo řečeno, IFM není moc náročné z hlediska počtu parametrů. Kromě určení, které oblasti jsou kolonizovány, vyžaduje 4 parametry, které zde už byly zmíněny. Velikost fragmentu a jeho vzdálenost od ostatních za nás řeší GIS a proto je není třeba manuálně zjišťovat.

- α – snižuje počet imigrantů s rostoucí vzdáleností
- x – stochasticita prostředí
- e – ovlivňuje velikost kritické oblasti a šanci na vymření
- y – mění vztah mezi počtem imigrantů a úspěšnou kolonizací

Bohužel určení jaké parametry za tyto proměnné dosadit, je z velké části na uživateli, jeho znalostech sledovaného druhu a porozumění samotného modelu. Nejčastěji se využívá cesty logistické regrese pro odhad části parametrů. Pokud jsou k dispozici data z více průzkumů, mohou se za parametry dosazovat různé hodnoty a porovnávat výsledky s pozdějšími měřeními. Také jde použít metoda vytvořená Moilanenem [10] pro zjištění přesnějších parametrů. Zde bude ale popsána metoda uvedená Hanskim [2] pro odhad s omezeným množstvím dat.

Parametr α je nejvhodnější odhadnout. Nejlepší představu o přibližné hodnotě si můžeme udělat prostudováním výzkumů disperzních vlastností druhu, které pomocí odchyty a značkování jedinců monitorují jejich migrační vzdálenosti. Po odhadu α pak bude možné vypočítat konektivitu jednotlivých fragmentů.

Pro stochasticitu prostředí, zastoupenou parametrem x , je nutná obecná znalost oblasti. Pokud se zde vyskytují prázdné větší fragmenty s kvalitní konektivitou, pak je třeba zvolit hodnotu nižší, než jedna. Naopak pokud existuje mnoho menších kolonizovaných fragmentů, které se nedají vysvětlit silnou konektivitou a rescue efektem, je vhodné zadat hodnotu vyšší, než jedna.

Nyní přijdou na řadu data z průzkumu. Pokud do původního vzorce IFM s rescue efektem dosadíme rovnice extinkce a kolonizace, dostaneme:

$$J_i = \left[1 + \frac{ey}{S_i^2 A_i^x} \right]^{-1}$$

Rov. 12 Základní vzorec IFM po dosažení hodnot

Toto se může dále upravovat na:

$$J_i = \frac{1}{1 + \exp[\ln(ey) - 2 \ln(S_i) - x \ln(A_i)]}$$

$$\ln\left(\frac{J_i}{1 - J_i}\right) = -\ln(ey) + 2 \ln(S_i) + x \ln(A_i)$$

Rov. 13 Další úpravy vzorce IFM

Do výsledného linearizovaného vzorce pak za J_i dosadíme zjištěné hodnoty výskytu (1 pro přítomnost, 0 pro absenci). Pokud pracujeme s daty pro více období, hodnoty se zprůměrují. Tímto dostaneme hodnotu ey . Vzhledem k tomu, že e se týká extinkce a y kolonizace, je třeba tyto hodnoty řádně rozdělit. Jinak nebudeme schopni rozlišit dvě základní a protichůdné vlastnosti druhu. Nejjednodušší metoda pro odlišení hodnot je přes kritickou oblast, která se označuje jako A_0 . Ze vzorce pro extinkci vyplývá jednoduchý způsob, jak ji vypočítat. Pokud do ní dosadíme minimální velikost fragmentu, na které může kolonie vzniknout, získáme parametr e .

$$e = A_0^x$$

Rov. 14 Nalezení hodnoty parametru e pomocí minimální oblasti

Bylo by vhodné dodat, že pokud neznáme velikost A_0 , lze použít rozlohu nejmenšího kolonizovaného fragmentu ve sledovaném území. Je třeba si ale uvědomit, že i menší oblasti, než je A_0 , mohou být chvilkově kolonizované díky rescue efektu a dalším vlivům. Pokud je to možné, doporučuje se metoda fluktuace.

Pro tento způsob rozdělení e a y jsou nutné alespoň dva postupné průzkumy. Metoda využívá předpokladu IFM, že metapopulace žije v rovnovážném stavu, tedy množství extinkčních a kolonizačních jevů T bude každou časovou jednotku přibližně stejné. Porovnáme tedy stavy území a za T dosadíme počet rozdílů. Následně dosadíme do vzorce:

$$T = \sum (1 - C_i) E_i p_i + C_i (1 - p_i)$$

Rov. 15 Rovnice pro výpočet fluktuace

Tento vzorec se dosazením dá dále upravit na:

$$T = \sum \frac{1}{S_i^2 + y^2} \left[S_i^2 (1 - p_i) + \frac{e y p_i}{A_i^x} \right]$$

Rov. 16 úprava fluktuační rovnice

Tímto získáme hodnotu y . Pokud máme průzkumů několik, T bude průměrem změn stavů fragmentů. Obecně samozřejmě platí, že čím více dat využíváme, tím přesnější pak budou výsledky.

3.7 Moilanenova parametrizace

Předchozí parametrizace má několik nevýhod. Nedokáže vypočítat samostatně všechny parametry a nepočítá ani s prostorovou a časovou korelací ve výskytu jedinců. Proto Moilanen [8] [10] vytvořil jiný postup, který odbourává tyto problémy. Ten na

druhou stranu zase potřebuje větší množství vstupních dat a je vhodný pouze pro počítačové modely.

Základem tohoto postupu je sledování struktury osídlení celého území a ne jednotlivých fragmentů. Z toho se pak počítá pravděpodobnost přechodu celé sítě fragmentů z jednoho stavu na druhý. Cílem celého procesu je pak najít takové parametry, které by odpovídaly zjištěným stavům. Tato metoda tedy vyžaduje minimálně 2 průzkumy oblasti. To je ovšem ve většině případů nedostatečné a je pak vhodnější použít základní parametrizaci.

Pokud tedy celkový stav fragmentů označíme jako O , časovou složku jako t a počet pozorování M , rovnice bude vypadat takto:

$$\begin{aligned} & \max P[O(t_0)] \times P[O(t_1) | O(t_0)] \times \dots \\ & \times P[O(t_M) | O(t_{M-1})] \end{aligned}$$

Rov. 17 Moilanenova parametrizace

Pokud jsou všechny pozorování odděleny jednou časovou jednotkou, je výpočet jednotlivých pravděpodobností pro N fragmentů velice snadný:

$$P[O(t+1) | O(t)] = \prod_{i=1}^N \begin{bmatrix} 1 - C_i(t) \text{ pro } p_i(t) = 0 \wedge p_i(t+1) = 0 \\ C_i(t) \text{ pro } p_i(t) = 0 \wedge p_i(t+1) = 1 \\ E_i(t) \text{ pro } p_i(t) = 1 \wedge p_i(t+1) = 0 \\ 1 - E_i(t) \text{ pro } p_i(t) = 1 \wedge p_i(t+1) = 1 \end{bmatrix}$$

Rov. 18 Určení hodnot, vložených do parametrizace

Pokud ovšem jsou pozorování od sebe oddělena, je vhodné použít metodu Monte Carlo. Jednotlivé časové kroky, které v datech chybí, se nasimulují pomocí IFM. Hodnoty parametrů poskytne náhodný výběr z definičního oboru, který zadá buď uživatel nebo se odvodí ze známých stavů území. Tento proces se pak mnohokrát zopakuje a výsledná data zprůměrují. Tímto získáme pravděpodobnost změn stavů pro neznámé časové úseky.

Hodnoty lze ještě vylepšit přidáním vrchní hranice pro počet změn stavů v oblasti. Monte Carlo totiž často vede k nerealisticky vysokým počtům přechodů. Nejlepší tedy je porovnat dva nejbližší studované stavy a počet jejich rozdílů stanovit jako maximální hodnotu.

Výsledné parametry jsou nakonec získány numerickými optimalizačními metodami. Tato metoda tedy vyžaduje velké množství opakovaných kalkulací, a proto je také určena výhradně pro počítačové modely.

Hanski [2] připouští, že Moilanenova parametrizace vede k přesnějším výsledkům. Nicméně hodnoty získané z původní metody se také příliš nevzdalují skutečnosti, takže pokud je k dispozici omezené množství dat, není chybou použít původní postup.

4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Součástí této práce je i modul pro geoinformační systém ArcGIS, který přidává možnost simulace IFM. Než přejdeme přímo k tomuto modulu, bylo by vhodné si popsat nástroje, které byly použity při jeho tvorbě.

4.1 Programovací jazyk a vývojové prostředí

Jako programovací jazyk byl použit **Python** ve verzi 2.5.1, což je primární skriptovací jazyk platformy ArcGIS. Tento jazyk je velmi flexibilní. Má mnoho knihoven, které zaručují rozsáhlou funkcionalitu a vysoce optimalizovaný kompilátor, díky kterému aplikace běží velmi rychle. Mezi jeho charakteristické znaky patří například automatické nastavování datových typů proměnných nebo rodičovství, naznačené pomocí odsazení kódu, místo uzavírání do závorek. Python je také multiplatformním jazykem. Nejdůležitější ovšem je, že využívá GPL jako základ pro svou licenci. To mimo jiné znamená, že je volně dostupný i pro komerční využití.

Jako vývojové prostředí byl zvolen **PyScripter**, verze 1.9.9.7. Je to další projekt s GPL licencí, fungující pod operačním systémem Windows. V tomto nástroji se tvořil celý kód, kontrolovala se jeho syntaxe a funkčnost.

4.2 ArcGIS Desktop

ArcGIS Desktop (dále jen ArcGIS) je soubor desktopových aplikací od firmy ESRI. Ta se zabývá vývojem GIS softwaru už od roku 1969. ArcGIS umožňuje vytvářet, zpracovávat, ukládat a publikovat prostorová data. Obsahuje celou řadu nástrojů pro GIS analýzy. Při tvorbě této bakalářské práce byla využita verze 9.3.1.

Jedním z velmi rozšířených produktů firmy ESRI je **shapefile**. Tak se nazývá vektorový datový formát pro souborové ukládání geometrických a atributových dat. Je podporovaný drtivou většinou GIS aplikací a umožňuje vizualizovat body, linie i polygony. Tento formát stojí i na vstupu modelu.

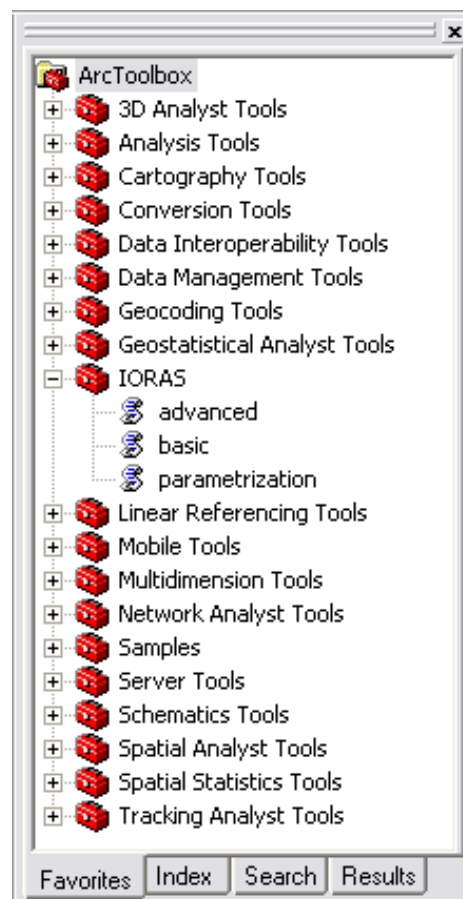
Další způsob ukládání prostorových dat je použití prostorové **geodatabáze**. První geodatabáze vznikaly již v polovině 80. let a ESRI stojí za dvěma hojně využívanými typy, **File Geodatabase** a **Personal Geodatabase**. Model na výstupu vytváří File Geodatabase. Je díky ní možné ukládat velké množství dat na jedno místo, udržovat jejich integritu a vytvářet nad nimi různé relace a pravidla. Je také optimalizována pro správu a analýzy geodat.

Vytvořený model je založen na procesu **geoprocessingu**. Ten dává uživateli možnost vytvářet automatizované procesy z jednotlivých nástrojů ArcGIS. K tomu se využívá objekt geoprocessoru. Umožňuje v rámci ArcGIS zpřístupňovat veškeré funkce, které slouží k manipulaci s prostorovými daty. Procesy mohou být vytvořeny v jednom z podporovaných programovacích jazyků nebo v aplikaci Model Builder, vytvořeném přímo ESRI.

Skripty, které si uživatel díky geoprocessoru vytvoří, se pak snadno integrují do programu pomocí takzvaných **toolboxů**. To jsou balíčky funkcí, použitelných v ArcGISu, do kterých se přidají vytvořené skripty a nadefinují se jejich vstupy a výstupy. Tímto se uživatelsky vytvořené skripty stávají funkcí, která se dá využívat přímo v programu, popřípadě ji použít v dalším modelování.

5 POPIS MODELU IORAS

Vytvořený model byl pojmenován IORAS, jakožto zkratka pro **I**ncidence **O**f **R**egions **A**nd **S**pecies. Skripty pro výpočet modelu byly vytvořeny dva. Liší se od sebe způsobem výpočtu vzdáleností jednotlivých fragmentů, které jsou kritické pro korektní výpočet konektivity, která byla popsána v kapitole 3.4. První, rychlejší skript, je pojmenován **Basic**. Ten počítá nejkratší vzdušnou vzdálenost a na jeho vstupu stojí pouze shapefile. Složitější skript s delším výpočtovým časem nese označení **Advanced** a kromě shapefilu vyžaduje i nákladový a výškový rastr, kterými vypočítá nejlevnější cestu. Tím se mohou modelovat druhy významně ovlivněné při migraci prostředím. Výstupem pak je geodatabáze, obsahující vstupní shapefile a tabulky s výslednými hodnotami. Poslední skript pak napomáhá stanovit parametry e a y , vyžadované IFM.

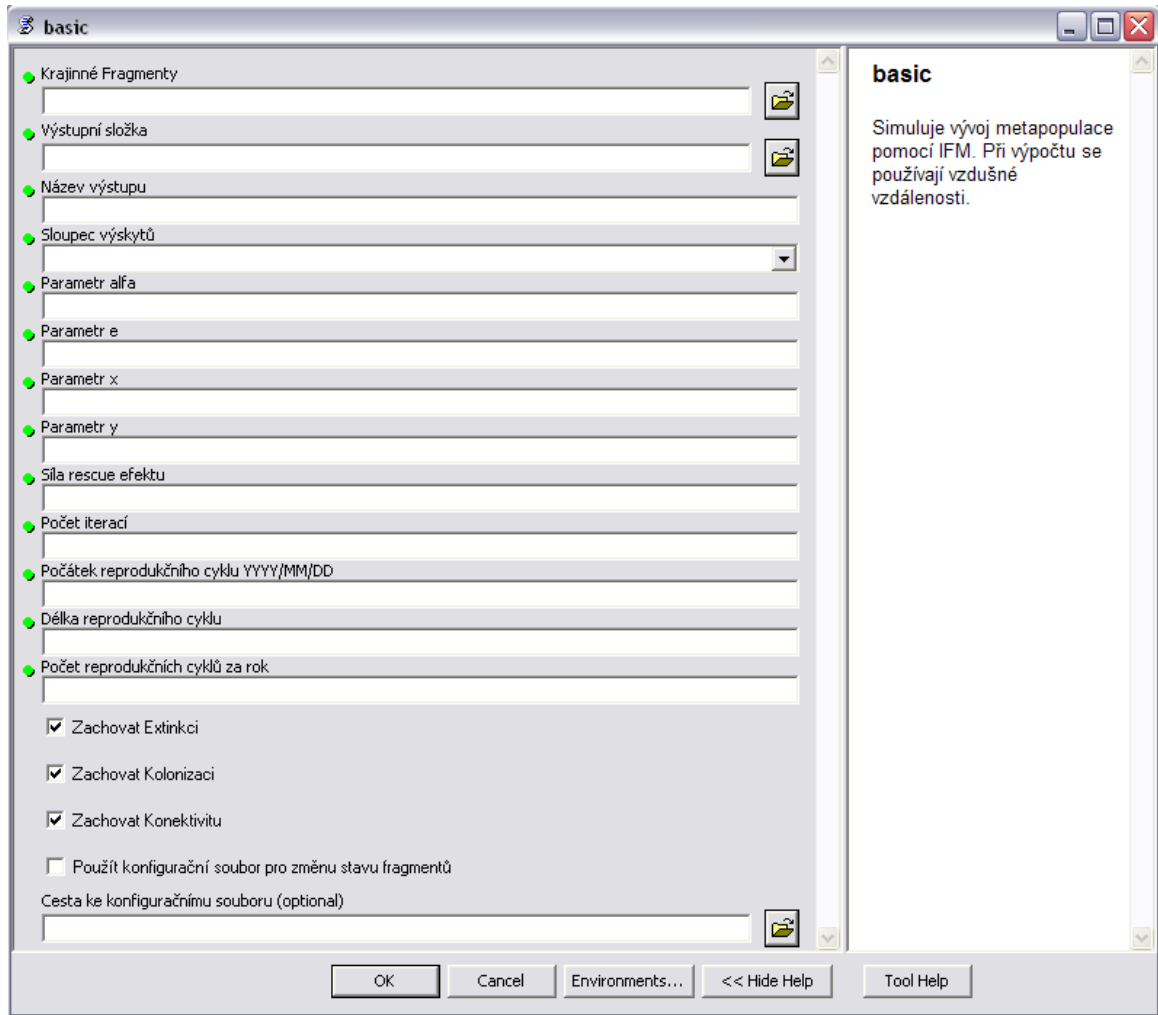


Obr. 2 Toolbox IORAS modelu

Skripty byly implementovány do ArcGIS toolboxu, který se dá snadno vložit do nabídky funkcí v jednotlivých aplikacích ESRI. Díky tomu také získají skripty jednoduché GUI, což zjednodušuje uživateli práci.

5.1 Vstupy modelů

Oba modely si jsou velmi podobné a sdílí většinu informací, které jsou na vstupu vyžadovány. Kromě IFM parametrů se zadávají další data pro vylepšení výsledku. Tím je myšleno například přidání časové značky pro možnost animace nebo volba dat, která chce uživatel uložit. Vstupy označené hvězdičkou jsou pouze pro Advanced skript.



Obr. 3 Formulář pro Basic verzi

- **Krajinné fragmenty** – Zde se vloží cesta k shapefilu s fragmenty pro výpočet.
- **Výstupní složka** – Složka, kde se uloží výsledek modelu.
- **Název výstupu** – Název, který ponese jednak výsledná geodatabáze, tak i soubory v ní.
- **Sloupec výskytů** – Sloupec v atributové tabulce shapefilu, který nese informaci o stavu fragmentů. Pro kolonizovaný fragment se použije 1, pro prázdný 0. Pokud jsou dostupné průzkumy z více let, použije se aritmetický průměr stavů. Hodnota pak může být například 0,25.
- **Reliéf*** – Výškový rastr pro výpočet nejlevnější cesty. Svým rozsahem by měl lehce přesahovat pozorované území pro lepší výsledky analýzy.

Velikost jeho buňky by měla být přímo úměrná velikosti pozorované oblasti. Pro malé oblasti je vhodný detailní rastr, naopak pro rozlehlá území je velká detailnost zbytečná a pouze prodlužuje délku výpočtu.

- **Nákladový rastr*** - Rastr s charakteristikou průchodnosti povrchu. Platí pro něj stejná pravidla jako pro reliéf. Uživatel může vložit obecný rastr povrchu a v rámci skriptu si ho reklasifikovat na nákladový pro specifický druh živočicha. Čím vyšší je hodnota buňky, tím hůře se jedincům místem prochází.
- **Parametr α** – Parametr IFM pro ovlivnění migračních vzdáleností. Viz sekce 3.4
- **Parametr e** – Parametr IFM pro ovlivnění extinkce. Viz sekce 3.2.
- **Parametr x** – Parametr IFM pro stochasticitu prostředí. Viz sekce 3.2.
- **Parametr y** – Parametr IFM pro ovlivnění šance na kolonizaci. Viz sekce 3.3.
- **Síla rescue efektu** – Dává uživateli možnost přidat do výpočtu modelu rescue efekt. Viz sekce 3.5.
- **Počet iterací** – Udává kolik cyklů má model vypočítat.
- **Počátek reprodukčního cyklu** – Datum ve formátu YYYY/MM/DD kdy začíná reprodukční cyklus živočicha. Využívá se spolu se zbytkem časových dat pro přidání časové dimenze. Díky tomu se pak výstup může animovat. Tímto se dá dosáhnout mnohem přehlednějšího výsledku.
- **Délka reprodukčního cyklu** – Počet týdnů, vyjadřující délku reprodukčního cyklu od jeho počátku.
- **Počet reprodukčních cyklů za rok** – Pro modelování druhů, které se rozmnožují v roce vícekrát.
- **Přidat extinkci** – Přepínač, kterým se vytvoří ve výsledku sloupec navíc, nesoucí informaci o pravděpodobnosti vymření kolonie na jednotlivých fragmentech. Tyto ukazatele mohou mít stejně velký význam jako samotná predikce vývoje metapopulace.

- **Přidat kolonizaci** – Stejným způsobem jako v předchozím případě přidá data o kolonizaci.
- **Přidat konektivitu** – Další přepínač, který přidává data, tentokrát pro konektivitu fragmentů.
- **Použít konfigurační soubor pro změnu stavu fragmentů** – Zatrhnutím tohoto přepínače si uživatel zvolí možnost použít jeho textový soubor pro ovlivnění výpočtu modelu. Podrobný popis této funkce je v sekci 5.25.2.
- **Cesta ke konfiguračnímu souboru** – Umístění konfiguračního souboru.
- **Použít ASCII soubor pro reklasifikaci nákladového povrchu*** - Zatrhnutím uživatel zvolí výše zmiňovanou funkci pro reklasifikaci nákladového rastru. Podrobný popis této funkce je v sekci 5.3.
- **Cesta k ASCII souboru*** – Umístění ASCII souboru pro reklasifikaci.
- **Změnit chybějící hodnoty na NODATA*** - Volba pro reklasifikaci, kdy se buď chybějící hodnoty v textovém souboru ponechají v novém rastru nebo budou buňky nesoucí tyto hodnoty označeny jako NODATA, čímž by byly ignorovány v dalších výpočtech.

5.2 Konfigurační soubor

Jako jeden z parametrů na vstupu skriptů se udává cesta ke konfiguračnímu souboru v ASCII formátu. Pokud ho uživatel bude chtít použít, umožní mu měnit simulované prostředí v čase. Pokud je známo, že některý z fragmentů zanikne (výstavba budov) nebo vznikne (vysazení stromů) v průběhu simulace, je tento fakt možné zahrnout do výpočtu. Formát tohoto souboru vypadá takto:

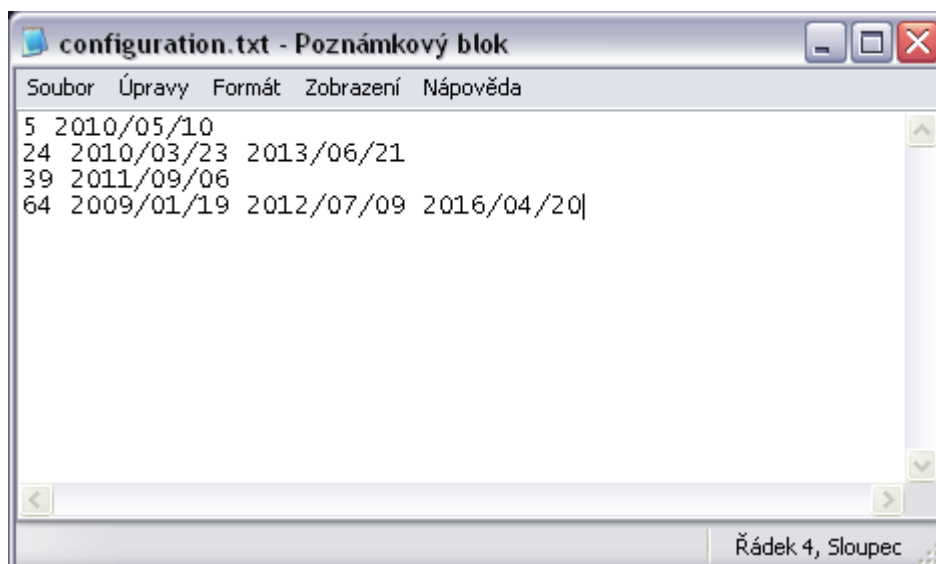
```
FID1 YYYY/MM/DD
```

```
FID2 YYYY/MM/DD YYYY/MM/DD YYYY/MM/DD
```

```
FID3 YYYY/MM/DD YYYY/MM/DD
```

Implicitně všechny fragmenty existují. To znamená, že fragment se systémovým označením 5 zanikne 10.5.2010. Fragment 24 pak nejprve zanikne 23.3.2010, načež o tři

roky později opět vznikne (výsadbou stromů atd.). Nově vzniklé fragmenty jsou vždy považovány za prázdné. Pokud chce uživatel simulovat vznik nové oblasti až později, stačí pro ni nadefinovat zánik v časovém intervalu první iterace. Tímto nebude na počátku brán v potaz. Vzhledem ke způsobu, jakým je skript napsán, je velmi důležité, aby byla jednotlivá data správně chronologicky seřazena.



Obr. 4 Příklad konfiguračního souboru pro změnu stavů fragmentů

5.3 Reklasifikační soubor

V Advanced skriptu je přidána možnost vložený nákladový rastr reklasifikovat před začátkem simulace pomocí textového souboru. Takto může mít uživatel rastr, zobrazující různé typy povrchu a podle živočichů, které simuluje, mu upravovat hodnoty. Toto se provádí ArcGIS, funkcí *ReclassByASCIIFile*. Zde je ukázka formátu textového souboru:

Vstupní hodnota1 : Výstupní hodnota1

Vstupní hodnota2 : Výstupní hodnota2

Pokud tedy uživatel nadefinuje v souboru hodnoty 1 : 10, všechny buňky v původním rastru s hodnotou 1, budou reklasifikovány v novém rastru na hodnotu 10. Další informace o formátu reklasifikačního souboru mohou být nalezeny na stránkách ESRI. [11]

5.4 Příprava dat

Příloha 1 obsahuje vývojový diagram modelu pro usnadnění orientace v jeho popisu. Po přijetí a kontrole parametrů skript vytvoří v nadefinované složce geodatabázi, kam zkopíruje vstupní shapefile.

Nyní se vytvoří slovníky (dočasné soubory informací v paměti počítače spojující identifikátor a přiřazenou hodnotu), přiřazující každému fragmentu velikost, stav a základní šanci na vymření. Velikost není nutné počítat, jelikož se při importu do geodatabáze automaticky přidá do speciálního sloupce v atributové tabulce. Z atributové tabulky se pouze naplní hodnoty slovníku. To samé platí pro stavy fragmentů, které jsou zadány uživatelem. Po první iteraci se získávají informace o stavu fragmentu z předchozího výsledku modelu. Základní extinkce se počítá pro ušetření výpočetního času. Je vždy konstantní, takže ji stačí vypočítat pouze jednou. V případě, že uživatel zahrnul do výpočtu rescue efekt, bude o něj extinkce dodatečně obohacena.

Poté, pokud uživatel využil možnost použít konfigurační soubor pro změnu stavů, je nutné z textu získat časové informace a připravit je pro použití ve skriptu. Výsledkem tohoto procesu jsou další dva slovníky. První mapuje stav všech fragmentů. Je v něm vytvořeno tolik položek, kolik je v shapefile polygonů a k nim přidána hodnota True. Tímto je dáno, že na počátku výpočtu všechny fragmenty existují. Do druhého slovníku se zapisují jednotlivé časové značky změn stavu z konfiguračního souboru, které se pak budou kontrolovat při iteracích.

Dále přichází na řadu zjištění vzdáleností mezi fragmenty, jakožto základ pro výpočet konektivity fragmentů. Způsob u verze Basic zde již byla nastíněna. Funkce *GenerateNearTable* vygeneruje tabulku, ve které jsou všechny možné kombinace fragmentů a jejich vzdáleností.

Postup u Advanced skriptu je pak mnohem složitější a jeho zpracování trvá delší dobu. Pro lepší pochopení sledu funkcí při výpočtu byl do příloh přidán model výpočtu vzdáleností. Viz Příloha 2.

Nejprve, pokud se tak rozhodl uživatel, se reklasifikuje vložený nákladový rastr. Následně se polygony převedou na rastrový formát. Toho je docíleno funkcí *PolygonToRasterConversion*. Poté se pomocí podmínkové funkce *Con* a následně

reklasifikace vytvoří rastr, mající hodnoty pouze 1 nebo 0 (tzv. bitové masky), podle toho, jestli v jeho buňce leží plocha polygonu nebo ne. Rastrům, které mají pouze tyto dvě hodnoty, se říká bitová maska.

Nyní se už pro každou plochu zvlášť generuje nejkratší cesta k ostatním fragmentům. Postupně se ze zdrojového shapefilu vybírají jednotlivé polygony. Nad ním se pomocí funkce *PathDistance* vytvoří nový rastr s informací o kumulativních nákladech pro cestu ze zdroje do každé buňky rastru. Výsledek analýzy se vloží do funkce *CostPath*, která vybere nejméně nákladnou cestu k jednotlivým polygonům. Z té je vytvořena druhá bitová maska. Masky se nyní zkombinují a jejich průběh se vyřizne do výškového rastru. Teď již stačí na upravený raster použít znovu analýzu *PathDistance* a získáme skutečné geometrické vzdálenosti. Ty se vyexportují do tabulky a jsou připraveny pro výpočet konektivity. Pokud je v shapefilu další polygon, celý proces se pro něj opakuje. Tím vznikne pro každý polygon tabulka, udávající vzdálenosti cest ke všem ostatním oblastem.

5.5 Jádro výpočtu IFM

Nyní se dostáváme k iteračnímu procesu modelu. Ten se opakuje po uživatelem stanovený počet cyklů. Nejprve je třeba stanovit časové rozmezí iterace. To se vypočítá pomocí uživatelsky zadaného data počátku, délky jednoho cyklu, počtu cyklů v roce a počtu již uskutečněných iterací. Po ukončení stanoveného časového intervalu pro jeden rok se automaticky začíná opět v datu počátku s připočteným rokem.

$$Start = Zacatek + 365 * c + 7 * delka * z$$

$$Konec = Start + 7 * delka$$

Rov. 19 Výpočet časového intervalu

C je výsledek celočíselného dělení iterace a počtu cyklů. Z je jeho zbytkem

Jakmile se získá počátek a konec časového rozmezí, přechází se k vytvoření a přípravě výsledné tabulky, kam se budou ukládat výsledky výpočtů v iteraci. Vytvoří se sloupce pro extinkci, konektivitu, kolonizaci, IFM, časovou značku a stav fragmentu po iteraci.

Pokud uživatel použil textový soubor pro změny stavu fragmentů, bude si teď model kontrolovat jednotlivá data z něj získaná proti časovému rozmezí mezi koncem

poslední a koncem nynější iterace. Pokud je v tomto období uživatelem zadána změna, fragment se označí jako prázdný a nebudou se pro něj počítat další statistiky.

V následujícím kroku se již počítá konektivita fragmentů. V Basic skriptu se prochází tabulka, vygenerovaná funkcí *GenerateNearTable* a získávají se z ní vzdálenosti mezi polygony. V Advanced verzi se pro každý polygon otevře jeho vlastní tabulka vygenerovaná procesem popsáným výše a délka trasy mezi polygony se zjišťuje z ní. V obou případech se zároveň kontroluje, zda je velikost polygonu větší, než minimální oblast, na které může vzniknout kolonie. Pokud není, je polygon opět označený jako prázdný a dále se při výpočtech ignoruje. Konektivita se počítá přesně podle vzorce Rov. 8 a výsledky se ukládají do připravené výsledné tabulky.

Na závěr se dopočítávají zbylé statistické indikátory. Nejprve šance na kolonizaci, podle vzorce Rov. 5. Nyní je možné dopočítat pravděpodobnost extinkce obohacenou o rescue efekt. Pokud jej uživatel nepřidal, vloží se do výsledku již dříve vypočítaná základní extinkce. Teď jsou již k dispozici všechny komponenty, potřebné k výpočtu IFM. Jako poslední se určuje samotný stav fragmentu po ukončení reprodukčního cyklu, který tato iterace reprezentuje. V případě, že byl fragment před začátkem iterace kolonizován, porovnává se šance na extinkci vůči náhodnému číslu od nuly do jedné. Pokud je náhodné číslo větší, kolonie přežila. Jestliže byl fragment prázdný, porovnává se pravděpodobnost kolonizace. Tentokrát, pokud je náhodné číslo větší, kolonizace neuspěla. Je-li stav fragmentu vyjádřen aritmetickým průměrem jeho několika stavů, použije se samotné IFM pro zjištění stavu. Větší náhodné číslo znamená, že bude fragment opuštěný.

5.6 Výstup

Podoba výstupu se v průběhu řešení projektu několikrát změnila. Původní návrh měl na výstupu multidimensionální tabulku NetCDF formátu. Ten je zcela ideální pro ukládání změn dat v čase, jejich vizualizaci i animaci. Tento formát se často využívá například v klimatologii. Bohužel, kvůli neznámé chybě v ArcGIS, byl soubor vygenerovaný pomocí funkce geoprocessoru *TableToNetCDF* pokaždé prázdný. Obsahoval pouze prázdnou hlavičku pro definici obsahu souboru.

Další varianta byla vytvořit jednu tabulku, která by obsahovala veškeré informace vypočtené modelem. Ta by se pak připojila k shapefilu pomocí společného identifikátoru,

nazvaného IFMID. Tím by polygony převzaly atributy z tabulky pro zobrazení výsledků. Navíc by se mezi shapefilem a tabulkou vytvořila relační třída, která by poskytovala větší integritu dat. Relace by byla typu 1:N a předávala by všechny změny v shapefile do tabulky. Tím pádem, pokud by se uživatel rozhodl vymazat fragment, data o něm by se vymazala i z tabulky. Toto řešení, společně s NetCDF variantou by bylo nejméně ideální jak z hlediska úložného prostoru, tak i práce s daty. Neobsahuje žádné redundantní informace a velmi snadno se dá z tabulky vytvořit animace.

OBJECTID ^	IFMID ^	IFM	Coloniz	Extinct	Connect	Present	TimeStrt	TimeEnd
1	0	0.206403	0.035405	0.136127	0.287375	0	1.5.2011	19.6.2011
2	1	0.054956	0.003852	0.066239	0.093276	1	1.5.2011	19.6.2011
3	2	0.699232	0.35518	0.152777	1.113258	1	1.5.2011	19.6.2011
4	3	0.968079	0.73063	0.024091	2.470387	1	1.5.2011	19.6.2011
5	4	0.979144	0.501969	0.010692	1.505917	1	1.5.2011	19.6.2011
6	5	0.984914	0.808432	0.012383	3.081426	1	1.5.2011	19.6.2011
7	6	0.90018	0.819836	0.090911	3.199787	1	1.5.2011	19.6.2011
8	7	0.956218	0.737112	0.03375	2.511726	1	1.5.2011	19.6.2011
9	8	0.957732	0.652023	0.028776	2.053277	1	1.5.2011	19.6.2011
10	9	0.828299	0.262482	0.054411	0.894859	1	1.5.2011	19.6.2011
11	10	0.584907	0.318341	0.225918	1.025072	1	1.5.2011	19.6.2011
12	11	0.750378	0.329178	0.109505	1.050759	1	1.5.2011	19.6.2011
13	12	0.902183	0.641305	0.069532	2.005676	1	1.5.2011	19.6.2011
14	13	0.924941	0.7185	0.058306	2.396431	1	1.5.2011	19.6.2011
15	14	0.932515	0.776644	0.056205	2.797068	1	1.5.2011	19.6.2011
16	15	0.974855	0.746046	0.019243	2.570965	1	1.5.2011	19.6.2011
17	16	0.923455	0.821333	0.06808	3.216092	1	1.5.2011	19.6.2011

Obr. 5 Tabulka s výsledky modelu

Po konzultaci s pracovníky Agentury Ochrany Přírody a Krajiny ČR, byla ale tato varianta pozměněna. Existovaly zde obavy, že ekologové, méně zkušení v práci s ArcGIS softwarem, s tímto výstupem mohou mít problémy. Vyžaduje totiž určitou znalost nástrojů, které ArcGIS nabízí. Spojení shapefile a výsledné tabulky by fungovala jen pro data z jednoho iteračního cyklu. Pro zobrazení dalších dat by bylo nutné udělat výběr pro požadované časové období. Proto se v nejnovějším návrhu vedle kompletní tabulky vytváří i další, obsahující výřezy dat pro jednotlivé iterace. Ve svém názvu nesou časový interval, pro který jsou vypočteny. Tím se práce s daty usnadní i pro nové uživatele ArcGIS softwaru. Toto řešení ale obsahuje redundantní data. V této chvíli je to nutný kompromis a pokud se uživatelé rychle aklimatizují na prostředí ArcGIS, redundantní tabulky se v budoucnu opět odstraní.

Name	Type
IORAS_20110401_20110722	File Geodatabase Table
IORAS_20120331_20120721	File Geodatabase Table
IORAS_20130331_20130721	File Geodatabase Table
IORAS_relationship	File Geodatabase Relationship Class
IORAS_shp	File Geodatabase Feature Class
IORAS_table	File Geodatabase Table

Obr. 6 Výstup IORAS modelu

6 DALŠÍ NÁSTROJE

Vedle samotného modelu byly vytvořeny další dva skripty. Ty se snaží o usnadnění práce s daty a při parametrizaci.

6.1 Import souřadnic

Data pro tento projekt byla poskytnuta AOPK. Jedná se o mapování výskytu modráska ve Vsetínské oblasti CHKO Beskydy a obsahuje 87 polygonů. Byla vyměřena pomocí GPS v souřadnicovém systému WGS-84 a uložena v .xls souboru s jednoduchou strukturou. První sloupec obsahoval ID fragmentu a další dva souřadnice x a y pro každý vrchol na jeho hraně. Souřadnice vrcholu byly vyjádřeny dvěma různými zápisy. Rozlišují se zápisem úhlových vteřin, které jsou buď v šedesátkové nebo desítkové soustavě.



Obr. 7 Studovaná oblast výskytu modráska

Příklad získaných dat		
40	N49 20.176	E18 10.713
	N49 20.182	E18 10.704
	N49 20.183	E18 10.686
	N49 20.178	E18 10.674
	N49 20.160	E18 10.717
	N49 20.158	E18 10.635
	49°20'10.20"S	18°10'38.43"V
	49°20'10.09"S	18°10'39.50"V
	49°20'9.65"S	18°10'39.28"V

Tato data bylo nutné zkonvertovat na shapefile pro vstup do modelu. Bohužel, celý proces se nepodařilo zautomatizovat. Nicméně je nyní stále jednodušší, než ruční vytváření shapefilu.

Původní soubor se vyexportoval pomocí Excelu do textového souboru v ASCII kódování. Pro něj byl pak napsán skript, který převádí tato data na formát použitelný v ArcGIS. Text si rozdělí na jednotlivé linie, ze kterých odstraní všechny nečíselné znaky jako je například °, ", N atd. Zůstanou tedy jen číselné zápisy souřadnic. Ty se přepočítávají z jejich původních hodnot do desítkové soustavy a změní se struktura jejich zápisu, aby odpovídala ArcInfo GEN formátu. Ta je definována takto:

```
ID
x1, y1
x2, y2
x3, y3
x1, y1
END
```

Skript tedy vytvořil GEN soubor. Ten musí nyní uživatel v ArcGISu zkonvertovat na geodatabázi pomocí funkce *QuickImport*. Zde je nutné nadefinovat souřadnicový systém jako WGS84 a zatrhnout možnost pro ukládání uzavřených linií jako polygonů.

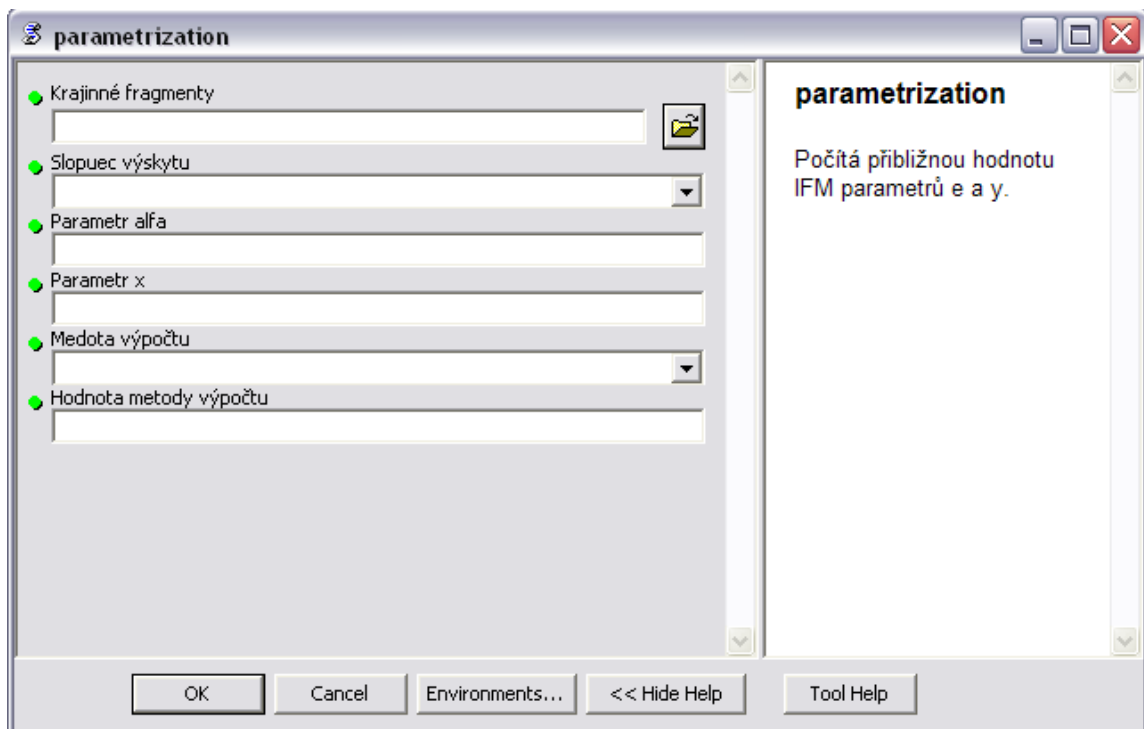
Poslední krok pak zahrnuje transformaci souřadnicového systému WGS84 na český S-JTSK. To se provede funkcí *Project*, která vrstvu rovnou uloží v shapefilu. Tímto jsou vstupní data připravena pro použití.

6.2 Parametrizace

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.6, dva parametry modelu se dají odvodit lineární regresí ze vstupních dat. Proto byl vyvinut skript, který tyto dvě hodnoty dokáže vypočítat. Moilanenova parametrizace nebyla vzhledem k její náročnosti na data implementována. Tento nástroj vytváří spíše orientační výsledky. Hanskeho [2] postup je sice přesně dodržen, nicméně v této chvíli není k dispozici žádný soubor dat, na kterém by se dala otestovat jeho přesnost. Proto by se hodnoty jím vypočítané měly brát s rezervou.

Vstupy do tohoto nástroje jsou takovéto:

- **Shapefile** – Cesta ke zdrojovému shapefile, který se použije v IORAS modelu.
- **Sloupec výskytů** – Sloupec s informací o výskytu kolonie jedinců na fragmentech.
- **Parametr α** – Hodnota parametru α , který hodlá uživatel použít pro IORAS. Viz 3.4.
- **Parametr x** – Hodnota IFM parametru x . Viz 3.2.
- **Metoda výpočtu** – Metoda, kterou se rozdělí hodnoty e a y . Buď může použít minimální oblast nebo velikost fluktuace. Tyto metody jsou podrobně rozebrány v kapitole 3.6.
- **Hodnota metody** – Hodnota, vážící se k metodě. Podle toho, co si uživatel zvolil, to bude velikost minimální oblasti nebo fluktuace.



Obr. 8 Formulář pro parametrizaci

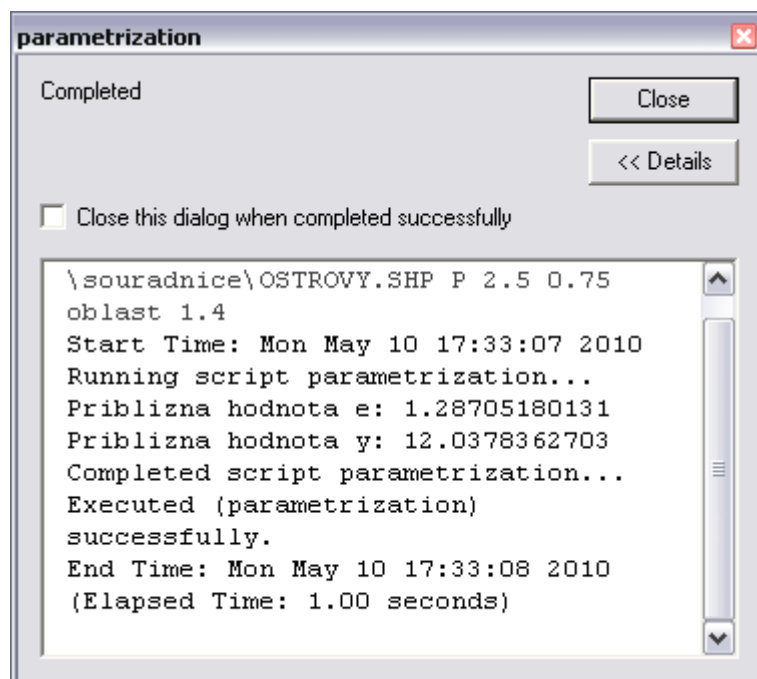
Po získání parametrů si skript otestuje, jestli jsou validní. To znamená ověření, zdali shapefile existuje, otestování, jestli jsou číselné parametry vskutku čísla. Nakonec

ještě ověří kladnost hodnoty metody. Minimální oblast, ani fluktuace, nemůžou být nikdy záporné.

Nyní stejně jako v modelu se vytvoří slovníky pro velikosti plochy a jejich stav. Proces je téměř identický. Vytvoří se dočasné sloupce pro výskyt a plochu, kam jsou zkopírovány hodnoty a posléze uloženy do slovníků. Oproti IORAS modelu zde ovšem přichází potencionální problém. Tím, že shapefile není naimportován do geodatabáze, není v jeho atributové tabulce automaticky spočítána velikost oblastí jednotlivých polygonů. Ta se musí dopočítat pomocí funkce *CalculateFieldManagement*. Pokud ale není v systémovém nastavení nadefinována tečka jako desetinný oddělovač, skript bude s chybou ukončen. Je to kvůli číselné konverzi velikostí, která je řešená příkazem *float(!shape.area!)*. Bohužel tuto chybu se nepodařilo odstranit a je třeba s ní při práci se skriptem počítat.

Dále se vytvoří tabulka vzájemných vzdáleností, která se použije pro výpočet konektivity. Vzhledem k časové náročnosti se používá jen jednoduchá varianta, podobná Basic verzi IORAS modelu. Na rozdíl od něj se ale konektivita ukládá místo atributové tabulky, do slovníku. Po jejím výpočtu se pak pro každý fragment zvlášť vypočítá hodnota e_y a výsledek se získává jejich aritmetickým průměrem.

Na závěr se hodnoty rozdělí metodou, kterou si uživatel zvolil. Pokud je to metoda minimální oblasti, parametr e se vypočte z její velikosti. Pokud je zvolena fluktuace, je pro výpočet y použit vzorec Rov. 16. Na závěr se hodnota e_y podělí nově vypočtenou hodnotou, získanou z uživatelem zvolené metody a výsledek se zobrazí v dialogu skriptu.



Obr. 9 Výstup parametrizace

7 TESTOVÁNÍ

Po vytvoření modelu bylo nutné otestovat jeho správné fungování. To se provádělo převážně na desktopovém počítači s následujícími specifikacemi:

- **Procesor** – AMD Phenom II X4 955; 3,2GHz
- **RAM** – Corsair 4GB DDR3 SDRAM
- **Grafická karta** – ATI Radeon HD 4890 1GB
- **OS** – Windows XP SP3

V průběhu tvorby modelu se jeho správný běh ladil na malém vzorku šesti ručně vyrobených polygonů. Pro potřeby Advanced skriptu byl vyroben i nákladový a výškový rastr.

Pro finální testování Basic skriptu se používala již zmiňovaná data o modráskovi, poskytnutá Agenturou Ochrany Přírody a Krajiny ČR. Bohužel, tato data jsou pouze z jednoho roku, takže nemohla být testována přesnost predikce IORAS modelu. Pouze jeho funkčnost. Další nevýhoda dat spočívala v tom, že všechny sledované oblasti byly kolonizované, což silně zvyšovalo konektivitu fragmentů a znesnadňovalo odhad vhodných parametrů pro výpočet. Při 87 polygonech trvala každá iterace v průměru 5 minut.

Testování Advanced verze bylo problematictější. Pro analýzu nad poskytnutými daty chyběl výškový a nákladový rastr. Pro výškový rastr se při výpočtu použil školní DEM s velikostí buňky 10 metrů, který ale není možné dále předávat. Nákladový rastr ovšem nebylo možné získat. Proto se čistě pro potřeby testování vytvořil náhodný rastr o třech hodnotách, který substituoval roli nákladového. Výpočet vzdáleností pak pro každý polygon trval dvacet minut. Následné iterace se již moc neodlišovaly od Basic skriptu a trvaly přibližně 6 minut.

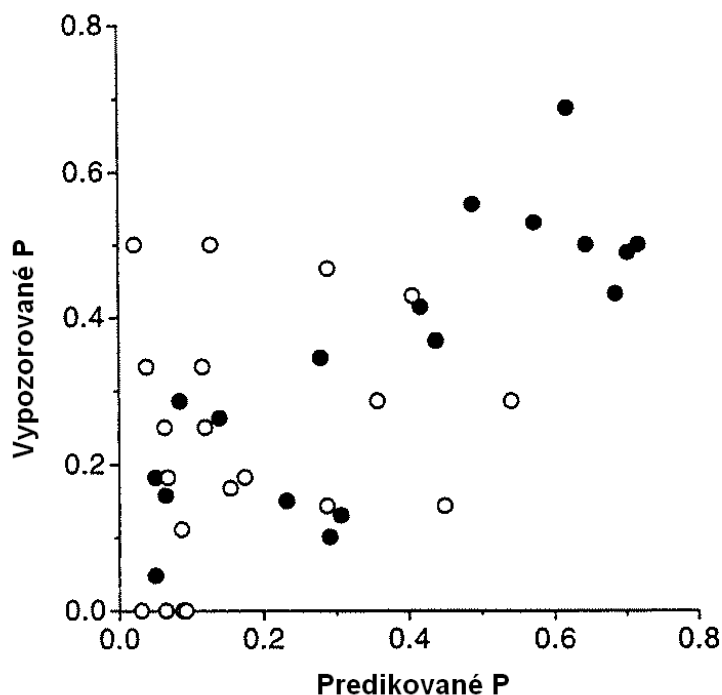
8 IFM V PRAXI

IFM už několikrát nalezlo své uplanění v praxi. Na ukázkou zde byly vybrány tři projekty, které zde budou ve zkratce rozebrány. Nejprve jsou to dvě studie živočichů a následně i program, snažící se o automatizaci IFM, stejně jako IORAS.

8.1 Studie hnědáška kostkovaného

Toto je jedna ze studií, prováděná Hanskim [2] při testování IFM. Ta se vztahuje na výskyt hnědáška na Ålandech. Použitá data byla získána v roce 1991 a obsahovala 50 sledovaných oblastí. Z nich bylo kolonizováno 42 fragmentů. Celkový rozsah studovaného území byl 25 km². Pro parametrizaci byla použita metoda fluktuace. Mezi rokem 1991 a 1992 bylo vypořizováno 9 změn. Tímto se získaly hodnoty e a y . Parametr α byl zjištěn z nezávislé studie o migračních vzdálenostech hnědáška.

Hanski celou oblast rozdělil na čtverce o 4 km². V každém z těchto čtverců pak zvlášť počítal IFM. Mnoho z těchto území mělo tak málo fragmentů, že bylo nutné ke kolonizační pravděpodobnosti připočíst menší hodnotu. To Hanski ospravedlnil faktem, že není neobvyklé, aby motýli občas překonávali velké vzdálenosti. Průměr za každý čtverec se pak porovnával vůči výsledkům průzkumu v roce 1993. Tři čtvrtiny simulovaných čtverců, měly své hodnoty vzdálené do dvojnásobku své směrodatné odchylky od skutečných hodnot. 5 čtverců je pak mělo značně vyšších a zbylých 21 výsledků bylo podstatně níže, než vypořizované hodnoty.



Obr. 10 Výsledky Hanskeho studie. [2]

Černé tečky jsou čtverce s více jak 15 fragmenty. Bílé mají méně.

Důvod, proč sledovanou oblast rozdělil, Hanski nijak blíže nepopsal. Analýza by mohla být lepší, kdyby použil oblast jako celek a až potom je rozčlenil pro prezentaci hodnot. I když výsledky nebyly špatné, tento příklad ukazuje, že není možné přesně předpovědět vývoj metapopulace pouze na datech z jednoho roku. Další možné důvody nepřesnosti mohou být způsobeny tím, že metapopulace nebyla v rovnovážném stavu nebo se kvalita jednotlivých fragmentů silně lišila.

8.2 Testování IFM na hnědásku osikovém

Johan Ahlén se ve své studii [11] zabýval porovnáním modelů pro predikci metapopulačního vývoje. Zejména pak různých variant IFM. Studovala se Švédská metapopulace hnědásku na území Lindesbergu mezi lety 1992 a 1994. Testované modely byly tyto:

- **Hod mincí** – vzhledem k její náhodnosti je tato metoda ideální, jakožto základ pro porovnávání přesnosti modelů.
- **Levinsův model** – předchůdce IFM, tento model je stále často používán v ekologických analýzách.

- **IFM** – Hanskeho základní varianta IFM
- **IFM s kontinuální extinkcí** – tento model má upravený vzorec extinkce tak, aby nikdy nebyla výsledná hodnota rovna jedné a pouze se jí přibližovala.
- **IFM s disperzní odmocninou** – tato varianta zkouší použít pro kolonizační pravděpodobnost γ odmocninu disperze. Tím získá migrace v modelu jiné rozdělení a může ovlivnit výsledky.

Pro výpočet parametrů byla použita nelineární regrese z terénních dat. Výsledky modelů se pak porovnávaly s daty naměřenými v roce 1997 a 1998. Zde jsou tabulky s hodnotami parametrů a výsledným srovnáním.

Hodnoty parametrů							
Model	c	p	α	x	y	e	γ
Levins	0.507	0.205					
IFM			0.00011	0.968748	4.96115	2.30662	
Kontinuální extinkce			0.00063	2.85468	5.40738	0.0103203	
Disperzní odmocnina			1.5	1.47193	2.93228	0.0476655	0.4

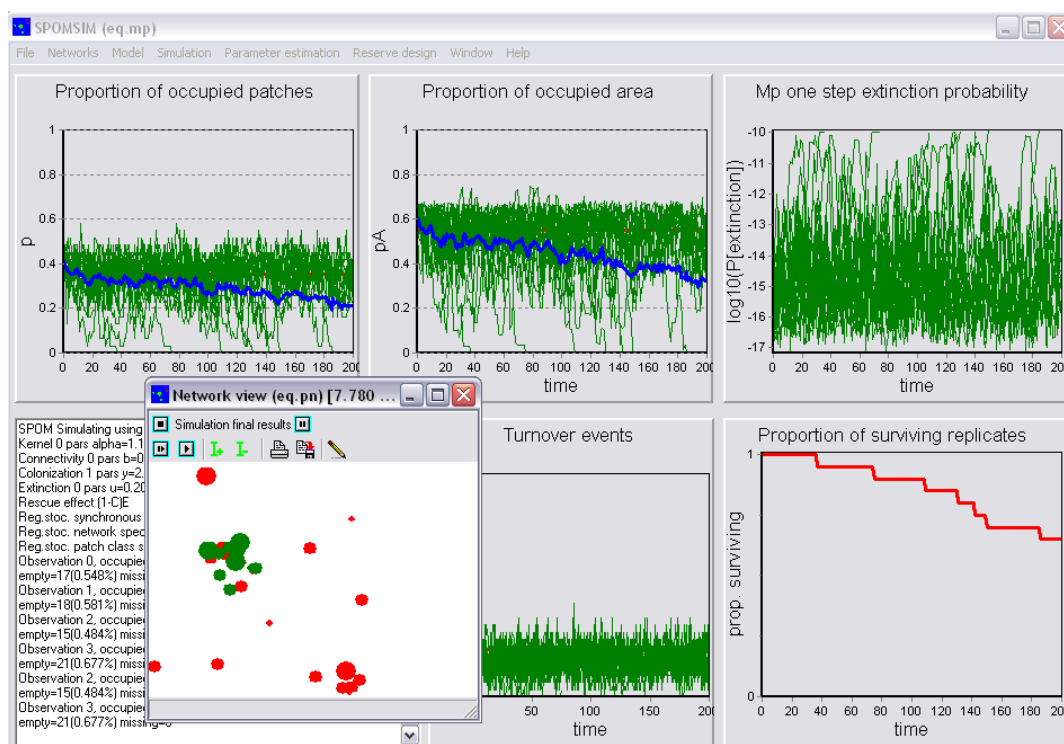
Výsledky testování				
Model	Průměrná shoda s rokem 1998	Směrodatná odchylka	Průměrná shoda s rokem 1999	Směrodatná odchylka
Hod mincí	0.497	0.00296	0.501	0.00299
Levins	0.455	0.00308	0.489	0.00303
IFM	0.252	0.00124	0.361	0.00126
Kontinuální extinkce	0.537	0.00228	0.609	0.00221
Disperzní odmocnina	0.531	0.00274	0.577	0.00272

Jak je vidět, v této studii IFM neobstálo. To ještě ale nemusí nic znamenat. Predikce metapopulace z dat vzdálených tři roky od sebe není zrovna nejideálnější. K tomu zvolené parametry byly přinejmenším velmi zvláště zvolené. Nicméně podobná studie by mohla přinést zajímavé výsledky, kdyby se aplikovala na IORAS model. Do doby, než bude hotov alespoň druhý terénní průzkum, je to ale bohužel nemožné.

8.3 SPOMSIM

Jako poslední byl zvolen program, napsaný v jazyce C++, který vyrobil Atte Moilanen pro modelování metapopulací [8]. Program je volně dostupný ke stažení na oficiálních stránkách sdružení pro výzkum metapopulací. [12] Jeho vývoj probíhal v letech 2000 – 2004. Tento program nabízí široké možnosti simulací, mnoho variant kolonizačních i extinkčních rovnic nebo možnost výpočtu parametrů z dat. Výpočet je také velice rychlý. Nicméně má program z GIS hlediska vážné nedostatky. Na vstupu do programu stojí textový soubor ve formátu, který je definován autorem. Fragmenty jsou vkládány jako jediný bod, který má funkci středu kruhu. Jeho obsah definuje velikost fragmentu. Tím se silně generalizuje celá studovaná oblast. Možnost vložení povrchu také chybí. Výsledek se vkládá do nového textového souboru, který má opět autorem definovanou strukturu a není možné jej využít v žádném GIS systému. Prostorová data jsou vynechána a zůstávají pouze statistické údaje. Výsledek není možné ani pořádně vizualizovat.

Vysoká rychlost výpočtu je u tohoto programu veliké plus. Nicméně v dnešní době standardizovaných formátů, vizualizačních prostředků a velmi přesných dat má tento program silně omezenou využitelnost.



Obr. 11 Náhled na hlavní okno SPOMSIM

ZÁVĚR

Práce byla vypracovávána v naději, že objasní lidem, zabývajícím se ochranou životního prostředí, jednu z metod, jak nahlédnout do budoucího vývoje metapopulací. Byla snaha teorii popsat co nejobecněji, aby každý zájemce o danou tematiku pochopil všechny základní aspekty IFM.

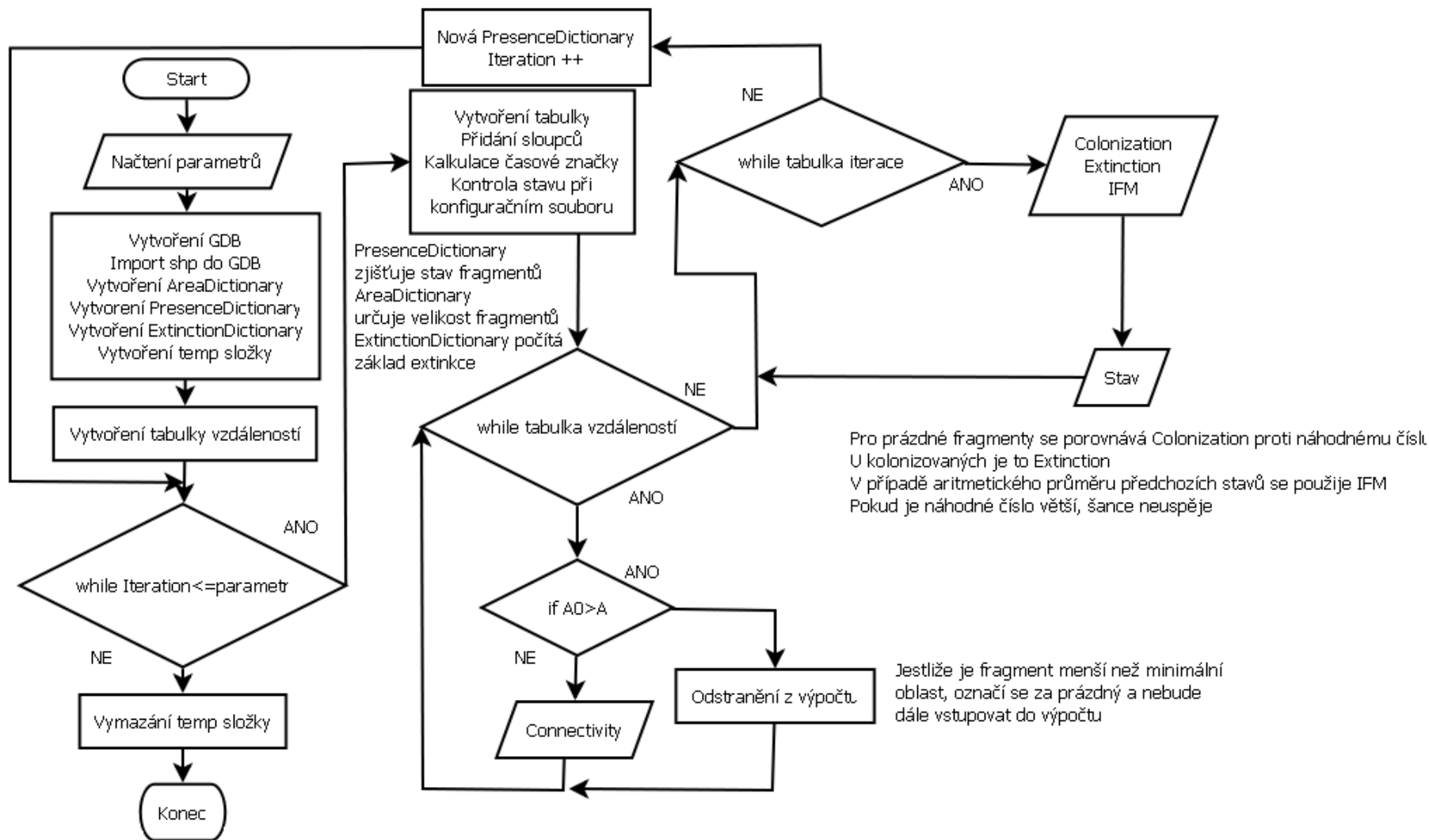
Zadané úkoly bakalářské práce byly splněny. Predikční nástroj je připraven pro použití. Nicméně celistvost projektu kazí neblahý fakt, že kvůli nedostatkům dat nemohl být podroben podrobnějšímu testování. Projekt probíhá prvním rokem a počáteční terénní měření jsou teprve prováděna.

Do jaké míry bude model úspěšný se zjistí v příštích několika letech. Data, získaná pozorováním metapopulací budou kompletnější a půjde lépe posoudit přesnost a hlavně užitečnost IORAS modelu v praxi. Do té doby, bude-li to možné, se bude nástroj dále rozvíjet. První uživatelé si již s kladnou odezvou nástroj prohlédli a podávají návrhy na další vylepšení, jako je třeba zahrnutí kvality fragmentů do modelu. Dále se pak budou implementovat funkce, které se v rámci této práce nestihly. Příkladem může být vlastní transformátor výsledků na NetCDF formát, snížení výpočetního času Advanced skriptu rozdělením práce několika počítačům v síti nebo odstranění závislosti nástroje na ArcGIS softwaru, využitím funkcí volně dostupných knihoven GDAL a OGR pro práci s prostorovými daty.

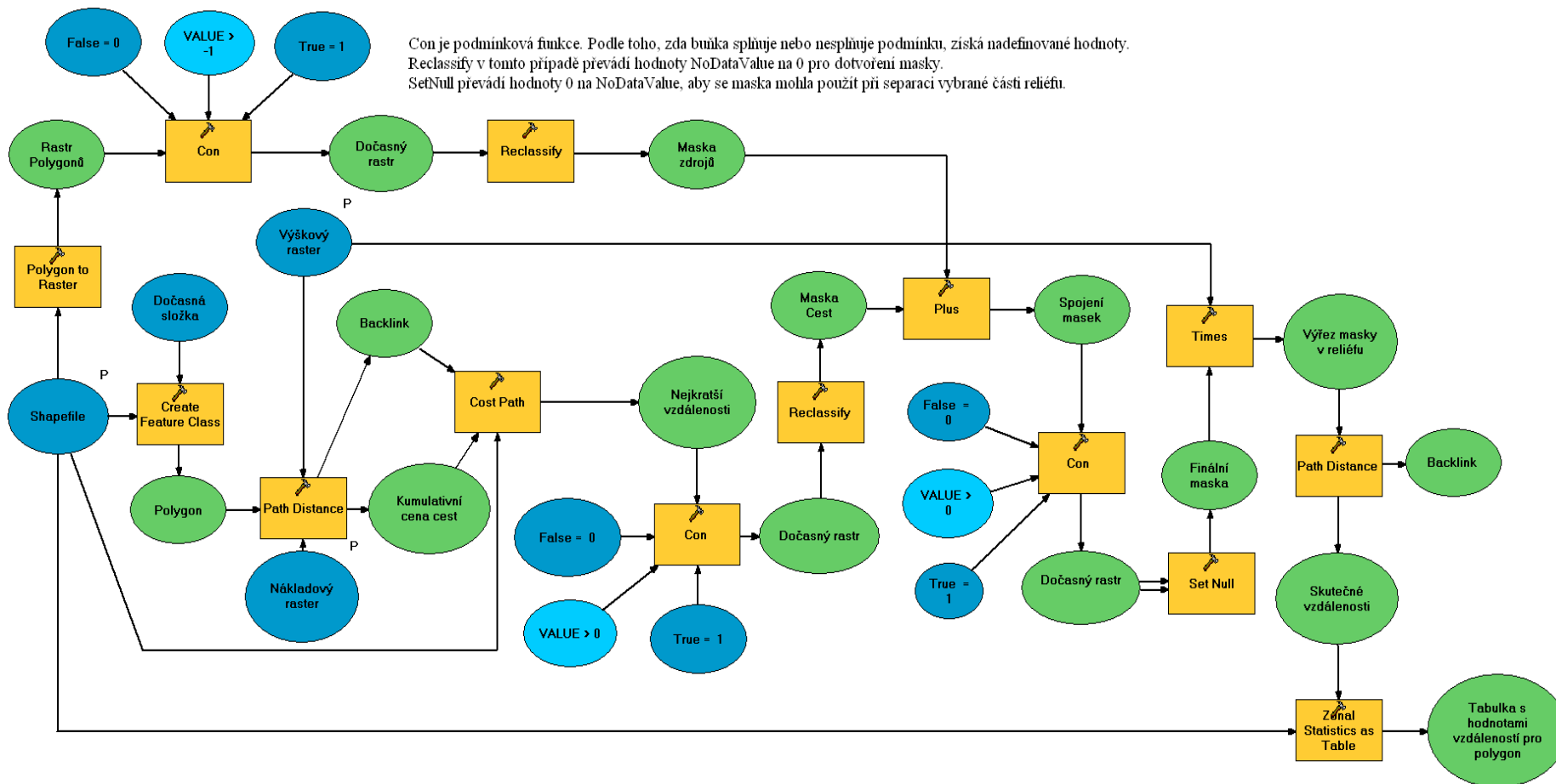
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *The relationship between butterflies and environmental indicator values: a tool for conservation in a changing landscape.* **Oostermeijer, J. G. B. a van Swaay, C. A. M.** 3, Biological Conservation, 1998, Sv. 86. ISSN 0006-3207.
- [2] **Hanski, Ilkka.** *Metapopulation ecology.* Oxford : Oxford University Press, 1999. ISBN 0-19-854065-5.
- [3] **Bascompte, Jordi.** *Modeling Spatiotemporal Dynamics in Ecology.* Berlín : Springer - Verlag, 1998. ISBN 3-540-63449-5.
- [4] **Frankham, Richard, Ballou, Jonathan D. a Briscoe, David Anthony.** *Introduction to conservation genetics.* Cambridge : Cambridge University Press, 2002. ISBN 0-521-63985-9.
- [5] *Metapopulation Dynamics.* **Hanski, Ilkka.** 6706, New York : Nature, 1998, Sv. 396. DOI 10.1038/23876.
- [6] **Jokela, Jukka.** Ecology and Evolution. *Group Jokela - evolutionary ecology.* [Online] 17. 11 2008. [Citace: 14. 1 2010.]
http://homepages.eawag.ch/~jokelaju/teaching/Ecology%20and%20Evolution%202008/script_metapops.pdf.
- [7] *Local populations of different sizes, mechanistic rescue effect and patch preference in the Levins metapopulation model.* **Etienne, Rampal S.** 5, New York : Bulletin of Mathematical Biology, 2000, Sv. 62. ISSN 0092-8240.
- [8] *SPOMSIM: software for stochastic patch occupancy models of metapopulation dynamics.* **Moilanen, Atte.** 4, místo neznámé : Ecological Modelling, 2004, Sv. 179. ISSN 0304-3800.
- [9] *A practical model of metapopulation dynamics.* **Hanski, Ilkka.** : Journal of Animal Ecology, 1994, Sv. 63. ISSN 00218790.
- [10] *Patch occupancy models of metapopulation: efficient parameter estimation using implicit statistical inference.* **Moilanen, Atte.** 3, London : Journal of Animal Ecology, 1999, Sv. 80. ISSN 0012-9658.

- [11] **ESRI**. How Reclass by ASCII file works. *ArcGIS Desktop Help 9.3*. [Online] Environmental Systems Research Institute, Inc. , 08. 02 2010. [Citace: 10. 05 2010.]
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Reclass%20By%20ASCII%20File%20works>.
- [12] **Ahlén, Johan**. Evaluating the incidence function model of metapopulation dynamics on the butterfly *Euphydryas maturna* in Sweden. *VäxtEko*. [Online] 01. 04 1999. [Citace: 03. 05 2010.] http://chaos.bibul.slu.se/sll/slu/ex_arb_entomologi/ENT99-04/ENT99-04.HTM.
- [13] **Moilanen, Ate**. Software developed by Metapopulation Research Group. *University of Helsinki*. [Online] 01. 01 2004. [Citace: 15. 03 2010.]
http://www.helsinki.fi/science/metapop/Software.htm#_SPOM.

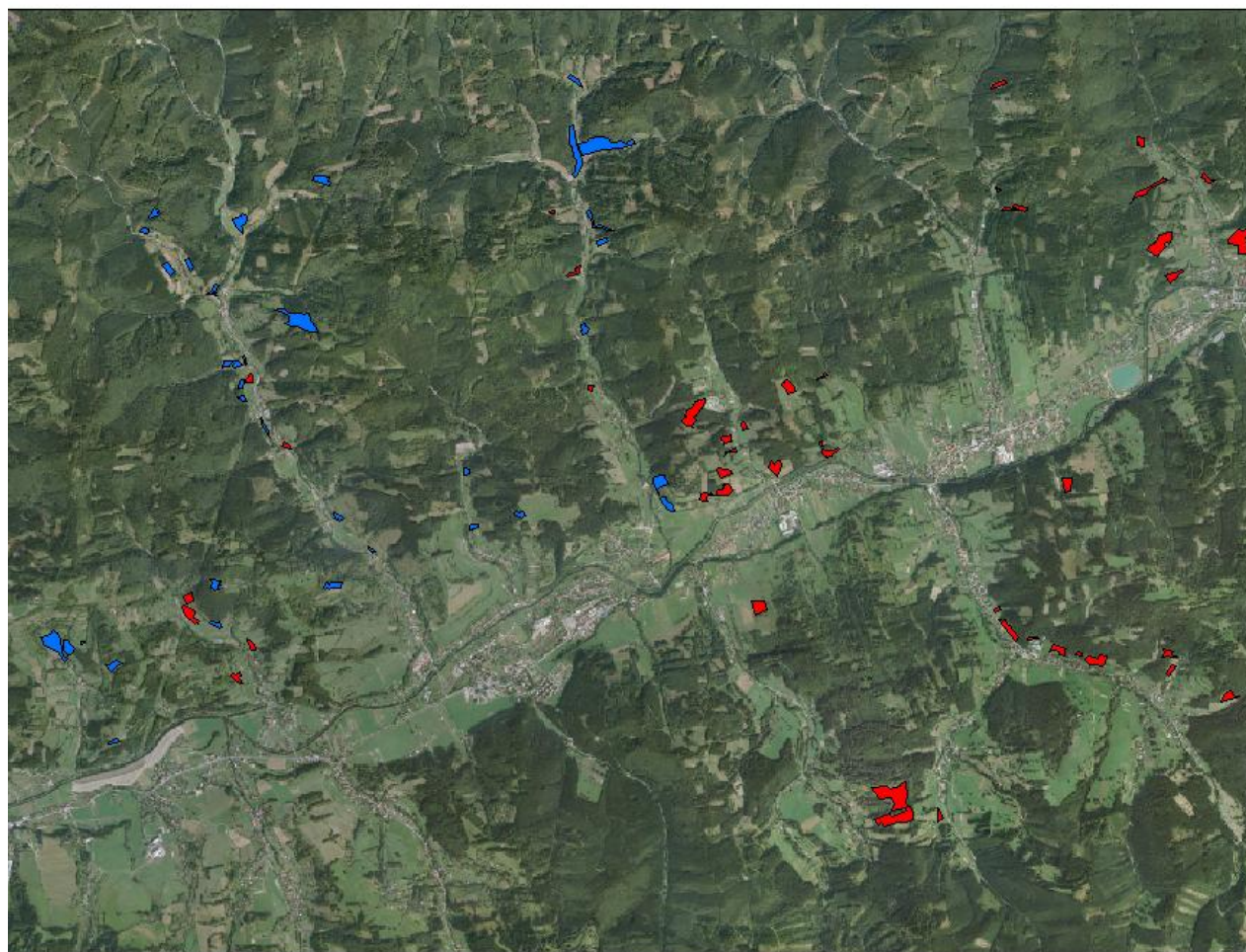


Příloha 1 Vývojový diagram IORAS modelu



Příloha 2 Způsob výpočtu vzdáleností u Advanced verze

PREDIKCE VÝVOJE METAPOPOPULACE MODRÁSKA v okolí Halenkova pro rok 2011



Fragment

- Prázdňý
- Kolonizovaný

Pro analýzu byly použity
tyto parametry:
alfa = 1,5
x = 1
e = 0,1
y = 2
r = 1,2

Autor: Jan VANDROL
Místo: Ostrava
Datum: 10. 05. 2010
Souř. systém: S-JTSK
Vytvořeno pro studijní účely
Zdroj dat: Cenia, AOPK

0 1 2 4 km

Příloha 3 Mapa predikce vývoje modráška pro rok 2011