

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Jonáš HRUŠKA

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ METODY MONTE CARLO
VE VÝVOJI KRAJINY**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Pavel TUČEK, Ph.D.

Olomouc 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Pavla TUČKA, Ph.D.

Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví.

Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 8. srpna 2014

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Pavlu TUČKOVÍ, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce.

Vložený originál **zadání** bakalářské/diplomové práce (s podpisy vedoucího katedry, vedoucího práce a razítkem katedry). Ve druhém výtisku práce je vevázána fotokopie zadání.

OBSAH

ÚVOD	6
1 CÍLE PRÁCE	7
2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	8
2.1 Použitá data	8
2.2 Použité programy	8
2.3 Postup zpracování	8
3 METODA MONTE CARLO	11
3.1 Historický vývoj	11
3.2 Princip metody	13
3.3 Aplikace	14
3.3.1 Výpočet π	16
3.3.2 Další aplikace metody	16
3.4 Přesnost metody	17
4 VYUŽITÍ METODY MONTE CARLO VE VÝVOJI KRAJINY	18
4.1 Změna krajiny a hodnocení softwaru pro modelování změn	18
4.2 Vzorkování	29
4.3 Povodně	30
4.4 Sesuvy půd	32
4.4.1 Statistická metodika	32
4.4.2 Geotechnická modelově založená metodika	33
4.5 Požáry	34
4.6 Rozhodování a nejistoty	35
5 URČOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ POMOCÍ MONTE CARLO SIMULACE ...	37
5.1 Příprava dat	38
5.2 Použití aplikace MC Sampler	39
5.3 Zpracování a hodnocení výsledků z aplikace	41
6 VÝSLEDKY	46
7 DISKUZE	48
8 ZÁVĚR	50
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
SUMMARY	
PŘÍLOHY	

ÚVOD

Využití geografických informačních systémů (běžně uváděných pod zkratkou GIS) se zejména v posledních letech rozšířilo mezi nejrůznější odvětví. GIS fungují jako organizovaný soubor dat, která dokážou znázornit všechny příslušné druhy potřebných geografických informací. Informatika a statistika patří k těm nejvýznamnějším z nich. Společně jsou tyto vědní disciplíny schopny poskytovat velmi hodnotné informace, které se používají ke zlepšení nebo zefektivnění lidského vývoje. Tato práce se zabývá jednou ze statistických metod, kterou lze v GIS použít, a to metodou Monte Carlo.

Jedná se o metodu, která využívá modelování náhodných veličin. Proto se řadí mezi typické statistické stochastické metody. Její počátky byly dle historických pramenů objeveny již v 18. století, kdy napomáhaly určovat hodnotu tzv. Ludolfova čísla. Oficiální definice této metody vznikla až mnohem později, v období 2. světové války. Nejprve byla metoda používána při řešení do té doby neřešitelných fyzikálních problémů. Následně díky rozvoji počítačové techniky došlo k jejímu použití v dalších disciplínách. Jednalo se o problémy zejména z oblasti techniky, řízení dopravy, ekonomiky, financí a samozřejmě i samotné matematiky. Využití metody Monte Carlo se používá ve všech oblastech, kde se pracuje s problémem, který je nějakým způsobem závislý na pravděpodobnostech.

V této práci bude nejprve definován její historický vývoj až do současné doby. Zároveň bude popsána základní matematická a statistická definice dané metody. Dále práce jednoduše zhodnotí možnosti využití metody Monte Carlo obecně. Bude zohledněna její aplikace v rozdílných oborech. Metoda Monte Carlo bude popsána s ohledem na její aktuální využití ve vývoji krajiny.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je nalézt a zhodnotit možnosti využití Monte Carlo simulace ve vývoji krajiny.

Prvním krokem bude rešerše literatury věnující se problematice využití simulací a obzvláště metody Monte Carlo v geoinformatice se zaměřením na jejich využití ve vývoji krajiny.

V praktické části práce se zhodnotí implementace simulací a nástrojů s nimi souvisejícími v GIS. Dále se v některém z dostupných softwarů provede ukázková studie využití simulace Monte Carlo pro vývoj krajiny.

Budou vyplněny také údaje o všech datových sadách, které se vytvořily nebo získaly v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně záloha údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O bakalářské práci bude vytvořena webová stránka v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle šablony dostupné na webových stránkách katedry v typografickém softwaru Tex. Na závěr bakalářské práce se připojí jednostránkové resumé v anglickém jazyce, které shrne hlavní použité metody a výsledky práce.

2 POUŽITÉ METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Pro vypracování bakalářské práce bylo nutné podrobné nastudování a pochopení principu jak metoda Monte Carlo (dále jen MC) funguje. Ze získaných informací se hledaly využití, kde by se dala tato metoda aplikovat ve vývoji krajiny. Pro práci s touto metou se objevilo několik nástrojů a programů, u kterých se hodnotila práce s nimi. Dále byl vytvořen program na základech metody MC. Tento program počítá optimální počet vzorků, který je potřeba v zájmové oblasti navštívit pro terénní šetření za zachování rozložení četností kategorií, ke zjištění jestli v oblasti nastaly změny.

2.1 Použitá data

Pro práci s metodou MC v oblasti přírodních jevů se využívají data rastrového formátu. V této práci se využilo volně dostupné databáze Evropské agentury životního prostředí (European Environment Agency). Z databáze byla stažena CORINE Land Cover pro roky 1990, 2000 a 2006. Jsou to rastrová data krajinného pokryvu pro celou Evropu. Z nabízených možností byla zvolena data s vyšším rozlišením 100 m pro jeden pixel.

2.2 Použité programy

Vybraná data byla zpracovávána výhradně v programu ArcGis 10 od společnosti ESRI. V programu ArcGis 10 se také ověřovaly výsledky z vytvořeného programu MC Sampler. Program se psal v C# na platforme .NET (4.0) v IDE Visual Studio 2010. Hodnotily se také nejzajímavější nástroje, které se využívají v oblasti změn a využívání krajiny. Jednalo se o nástroje Land Change Modeler, LanduseSim, SemGrid, Vegetation Dynamics Development Tool a ST-Sim. Využilo se také balíku společnosti Microsoft, konkrétně se jednalo o Excel a Word 2013.

2.3 Postup zpracování

Po nastudování potřebné literatury začal popis samotné metody Monte Carlo a snaha o vystihnoutí nejdůležitějších bodů jejího vzniku a podstaty jejího fungování. Uvedly se případy, kdy je vhodné tuto metodu použít a zároveň byly popsány výhody a rozdíly, oproti jiným metodám, které v sobě skrývá. Poté následovalo hledání konkrétních studií, v kterých bylo tohoto principu využito. Z těchto studií se zjistilo, že se v pracích používaly různé nástroje nebo modely se základy na technikách MC. Jednotlivé

nástroje, které se povedlo zprovoznit, se zhodnotily s důrazem na jejich využití ve vývoji krajiny. Většina těchto nástrojů slouží převážně k modelování změn a hodnocení dynamiky změn v krajinném pokryvu a ve využívání půdy. MC metoda je v nich obsažena ve své nejvyšší podobě formou Markovových řetězců v algoritmech výpočtů.

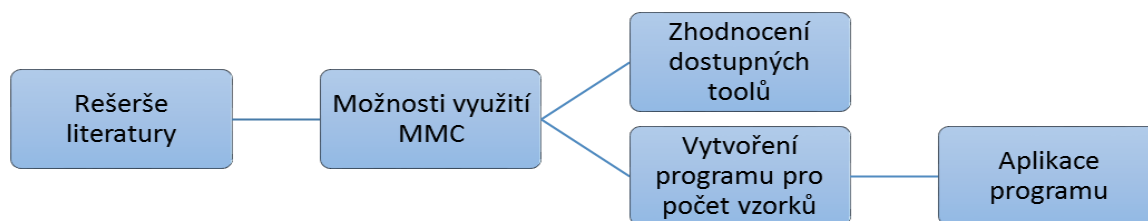
Konkrétní studie (MAEDA a kol. 2010) se stala inspirací pro tvorbu simulačního programu, který ze získaných údajů o charakteristice území, počítá optimální počet vzorků, který je potřeba v terénu navštívit pro statistické analýzy.

Byla vytvořena aplikace nazvaná MC Sampler, která umožňuje simulovat náhodné výběry nad klasifikovanými daty (např. rastry) a pomocí metody Monte Carlo odhadovat minimální velikost výběru se shodným rozložením četností. Aplikace je naprogramována v jazyce C# platformy .NET Framework (verze 4.0). Pro grafické uživatelské rozhraní se využilo Windows Forms, což je knihovna .NET umožňující snadné vytváření formulářů a formulářových komponent pro prostředí Microsoft Windows. Všechny kódy byly napsány ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2010.

Po startu aplikace je uživateli zobrazeno okno formuláře MainForm (MainForm.cs), které představuje jednoduché rozhraní pro vstup dat, nastavení parametrů výpočtu, zobrazení nápovědy a v neposlední řadě i pro spuštění samotného výpočtu. Pro vstup dat se použil formulář InputForm (InputForm.cs), který data řadí do grafické komponenty ListView s unikátní ID hodnotou.

Výpočty a celá logika aplikace se nachází v třídě Sampler (Sampler.cs). Náhodný výběr je simulován vytvořením jednodimenzionálního pole klasifikovaných dat. V případě rastru 3×3 klasifikovaného do 3 kategorií (1, 2, 3), by toto pole mohlo vypadat následovně: {1, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 3, 3}. Takto vytvořené pole je poté promícháno pomocí Fisher-Yates Shuffle algoritmu s využitím nativní .NET třídy Random, která pro dané účely, s ohledem na výkon, poskytuje dostatečný prvek náhody. Náhodný výběr je poté realizován vytvořením kopie tohoto pole od i -tého do $(i + n)$ -tého prvku, kde i představuje aktuální pozici při procházení pole a n velikost daného náhodného výběru. Výpočet probíhá do té doby, dokud metoda Calculate dospěje k výsledku. Vrací buď ideální počet bodů náhodného výběru, nebo v opačném případě vrací -1, což znamená, že z použitých dat a zadaných parametrů nelze hledaný počet bodů vypočítat. Zobrazení výsledků a mezi výpočtů je možné pomocí formuláře LogForm (LogForm.cs), který vyvolá tlačítko „Výpis“ po skončení výpočtu v uživatelském rozhraní. Do formuláře se data zapisují pomocí třídy Logger (Logger.cs).

V této práci se aplikace použila pro hodnocení změn ve vývoji krajiny pomocí náhodně vygenerovaných bodů do oblastí a jejich následného statistického šetření. Pro výpočet se využila data Corine Land cover získaná z volně dostupné databáze Evropské agentury životního prostředí (European Environment Agency). Data jsou poskytována pro většinu míst v Evropě. Pomocí softwaru ArcGis 10 se vybrala a ořezala zájmová oblast kolem Olomouce čtvercového půdorysu o rozloze 50km x 50km. Byla nutná reklasifikace zájmového území podle přiloženého excelovského dokumentu, kde byly všechny kategorie klasifikovány. Reklasifikace byla provedena podle vlastního uvážení s ohledem na další práci s kategoriemi. Stejná operace proběhla pro všechny zpracovávané snímky. Z nejstaršího snímku se zjistilo, jak velkou část zabírají klasifikované kategorie, a tyto údaje se vkládaly do vytvořeného simulačního programu MC Sampler. Program počítá, kolik bodů vystihuje rozložení jednotlivých kategorií podle tolerovatelné hodnoty RMSE. K výsledku se dopočítá tak, že počítá chybu RMSE pro různý počet vzorkovacích bodů. Získaný optimální počet bodů podle tolerovatelné RMSE chyby z aplikace MC Sampler se poté vygeneroval náhodně do novějších snímků z roku 2000 a 2006 snímků zájmové oblasti a zjišťovala se jimi úspěšnost vystihnoutí trendů změny nebo nezměny vývoje krajiny. Po ověření kolik bodů podle zvažovaných parametrických vstupů v programu MC Sampler nejefektivněji a dostatečně vystihuje trendy v krajině, bylo možné tvrdit, že stejným počtem bodů je možné odhady o změnách v té samé oblasti ověřit k nejaktuálnějšímu datu.



Obr. 1 Vývojový diagram postupu řešení bakalářské práce.

3 METODA MONTE CARLO

Geoinformatika je jedním z odvětví, kde dochází k využití metody Monte Carlo. Geoinformatika je ve své podstatě vědní disciplína na rozmezí informatiky a přírodovědných a technických oborů. Její zaměření je na vývoj a aplikaci metod se speciálním důrazem na geografickou pozici objektů. Zabývá se metodami sběru, klasifikací, analýzou, strukturou prostorové informace, rozšiřováním dat, infrastrukturou pro optimální využití prostorové informace. Prostorová geografická data vznikají z datových modelů, které se zobrazují v grafické nebo digitální podobě. Jedná se o postup, pomocí kterého je možné, zájmovou oblast tzv. načíst nebo zobrazit v počítači popř. v GIS (BURROUGH, P. A. a R. A. MCDONNELL, 1998). Mezi základní nástroje geoinformatiky patří:

- GIS,
- techniky analýzy geodat,
- metody průzkumové analýzy, metody řešení deterministických úloh založených na diferenciálním počtu (možnost uplatnění metody Monte Carlo), atd. (MANNO 1999, s. 162).

Metodu Monte Carlo lze v geoinformatice využít ke sledování změn ve vývoji krajiny. Při propojení této metody s GIS lze určovat pravděpodobnost změn, které byly v krajině v minulosti. Rovněž je stejným způsobem možná aplikace odhadů změn do budoucnosti.

3.1 Historický vývoj

Jako předchůdce metody Monte Carlo je považována tzv. Buffonova jehla. Její počátky se datují do roku 1777 a tvůrcem je matematik francouzského původu Georges Louis Leclerc de Buffon. Jednalo se o pokus s jehlou a archem papíru. Papír byl rozdělen rovnoběžnými linkami a na něj se házelo jehlou stejné velikosti, jako je vzdálenost mezi linkami. Pravděpodobnost, že jehla protne některou z linek, je $2/\pi$. Z těchto údajů se následně nechá odvodit samotná hodnota π (tzv. Ludolfovo číslo). V roce 1901 provedl Lazzerini celkem 34 080 hodů jehlou. Na základě těchto hodů dospěl k hodnotě π s parametry 3,1415929. Na tehdejší dobu to byl velmi dobrý výsledek (ROBERT a CASELLA 2002, s. 507). Za hlavní průkopníky metody jsou považováni Enrico Fermi, Nicholas Metropole, John von Neumann a Stanislaw Ulam. Samotný název metody byl

odvozen od světoznámého kasina v Monte Carlu. Metody, které metodě Monte Carlo předcházely, se dělaly naopak. Nejprve došlo k porozumění deterministického problému a následně byla provedena simulace testu. Mezi nejslavnější použití metody je považován objev Enrica Fermi z roku 1930, kdy pomocí náhodnosti objevil neutron. Jednalo se o významný výsledek s ohledem na fakt, že použití této metody bylo velmi náročné vzhledem k absenci počítačové techniky. Ve 40. letech 20. století byla metoda prvně oficiálně formulována. Její využití bylo uplatněno již během 2 světové války. Za zakladatele metody z této doby jsou považováni, již zmínění Stanislaw Ulam a John Neumann. V roce 1944 došlo k návrhu použít teorii pravděpodobnosti na základě počítače při výzkumech na atomovém výzkumu. Propagátorem této myšlenky byl J. Neumann. V roce 1948 byly americkým matematikem Lehmerem stanoveny nejpoužívanější generátory náhodných čísel (VIRIUS 2010, s. 233). Termín Monte Carlo byl poprvé použit v roce 1949 v publikaci od autorů Metropolis a Ulam (METROPOLIS, N. a S. ULAM., 1949). Podrobně popsal vývoj této metody spolu nástupem počítačů Metropolis ve svém šláunku v časopise Los Alamos Science Special Issue v roce 1987 (METROPOLIS N., 1987). Zájmem Metropolise a Ulama bylo zkoumání již dříve objevených neutronů. Metoda MC se v té době nejvíce používána k výpočtu, jaké množství neutronů projde rozdílnými materiály. Zjednodušeně se použil princip rulety. Při roztáčení rulety docházelo k simulaci pohybu neutronu. Při zastavení rulety na dílku, který znázorňuje pohlcení neutronu, by nedošlo k průchodnosti neutronu. Proces by byl neustále opakován. Neutron by byl pohlcen. Vychází to opět z předpokladu, že pohlcení neutronu jiným atomem dochází v poměru 1:100. Teprve po roce 1945 (došlo k prvnímu vývoji počítačů) začala být tato metoda řešena do větších podrobností. V 50. letech 20. století byla využita v Los Alamos. Její rozšíření nastalo hlavně v odvětví fyzikální chemie, fyziky a samozřejmě v operačním výzkumu. Hlavně americké letectvo se postaralo o rozšíření této metody a najití nových možností uplatnění. Při využití velkého množství náhodných čísel došlo k urychlení vývoje pseudorandomu číselných generátorů. To vše umožnilo mnohem rychlejší využití (LANDAU 2000). V současné době díky rozvinuté počítačové technice je možné využít metodu v mnoha oblastech lidského života. Její největší využití se nachází v oborech ekonomiky, fyziky, chemie, řízení dopravy, matematiky, geografie, studia životního prostředí. Tato metoda byla integrována do mnoha počítačových programů, kde se v současnosti aktivně používá (VIRIUS 2010, s. 233).

3.2 Princip metody

Metoda Monte Carlo je založena na algoritmech. Tyto algoritmy mají společný výpočet. Ten je potvrzen odhady náhodných veličin. To znamená, že se vždy jedná o mnohokrát opakované pokusy. Pomocí metody se řeší úlohy dvojího typu: stochastické a deterministické. Nejprve dojde k sestavení pravděpodobnostní úlohy, která musí mít stejné řešení s úlohou původní. Pomocí statistické cesty se stanovují odhady hledané veličiny. Díky této cestě se jedná o pravděpodobnostní charakter (FABIAN a KLUIBER 1998, s 148). Obecně lze popsat metodu Monte Carlo, jako postup založený na hledání hodnoty veličiny Y , která souvisí s náhodným procesem. Celý proces je modelován na počítači. Výpočet pomocí metody MC lze rozdělit do 4 základních po sobě následujících kroků.

1. Generování náhodného čísla y s rovnoměrným rozdělením na intervaly $(0,1)$
2. Náhodné číslo y je transformováno na náhodné číslo z s požadovaným rozdělením
3. Pomocí čísla z lze přímo spočítat odhad náhodné veličiny X nebo lze počítat pomocí algoritmu hodnoty x a následně odhad charakteristik náhodné veličiny
4. Statistické zpracování (KLVANĀ 2006, s. 34)

Metoda je přímo závislá na generování numerických realizací náhodných proměnných. Běžně jsou tyto realizace nazývány náhodná čísla. Při výpočtech je třeba, aby počet náhodných čísel byl co největší. V současnosti ke generování čísel napomáhá výpočetní technika. Generování čísel se dělá ve dvou základních krocích. Nejprve dojde ke generování určitého čísla na určitém intervalu (včetně uniformního rozdělení). Vše se provádí primárním generátorem. Generátory mohou být přírodní, tabulky náhodných čísel a generátory pseudonáhodných čísel. Následně se provádí transformace, kdy jsou čísla převedena na hodnoty s určitým pravděpodobnostním rozdělením. Pro ukázkou aproximace distribuční funkce náhodné veličiny se používají histogramy, které slouží jako grafické znázornění pravděpodobnostní hustoty funkce (LANDAU 2000).

Metoda Monte Carlo se využívá v situacích, kde ostatní metody nepřinášejí daný efekt. Zjednodušeně se dá označit za výpočet integrálů hustot pravděpodobností náhodných veličin. Jejím výsledkem je vždy pravděpodobnost určitého zkoumaného jevu (FABIAN a KLUIBER 1998, s 148). Zpravidla se metoda Monte Carlo nechá rozdělit dle způsobu řešení na dvě rozdílné metody. První metodou je tzv. geometrická metoda. Této metody se využívá například při výpočtu plochy tělesa v prostoru. Zároveň se touto

metodou vypočítá číslo π nebo jednorozměrné či vícerozměrné integrály. Druhou metodou je výpočet založený na odhadu určité charakteristiky náhodné veličiny. V dnešní praxi se tyto pokusy realizují pomocí počítačů. Již nejsou prováděny klasické experimenty, které byly mnohem více náročné (KLVANĀ 2006, s. 34). Modelování náhodného procesu a statistické zpracování výsledků je podstatou metody Monte Carlo. Aby byla zajištěna přesnost výsledků, je nezbytné několikanásobné opakování simulace. Pro odhad hledané hodnoty je velice důležité zároveň i určení přesnosti odhadu (FABIAN a KLUIBER 1998, s. 148). Při výpočtu pomocí metody MC je vždy jedna nebo více veličin vyjádřena pomocí histogramu. Daný histogram ve své podstatě vyjadřuje pravděpodobnost velikosti veličiny nebo jejího výskytu (LANDAU 2000).

3.3 Aplikace

Metoda Monte Carlo je výhodná z hlediska jednoduché implementace a její nevýhodou je relativně malá přesnost. Aplikace dané metody je možná v mnoha oborech. Obecně lze konstatovat, že celková efektivnost a přesnost daného výpočtu je dána třemi zásadními body.

1. Výběr racionálního algoritmu výpočtu
2. Kvalita generátoru náhodných čísel
3. Kontrola přesnosti získaného výsledku

Dále je pro dodržení metody Monte Carlo třeba respektovat tři dané skutečnosti.

1. Vytvoření reálného modelu daného systému
2. Model musí obsáhnout všechny relevantní skutečnosti, které podstatně ovlivní reálný systém
3. Experiment s modelem (FABIAN a KLUIBER)

Metodou Monte Carlo se nejčastěji modelují stochastické procesy. Tyto procesy zahrnují lidský výběr nebo naopak proces, jehož informace nejsou úplné. Používají náhodná čísla a pravděpodobnostní analýzy ke zkoumání dané problematiky.

Při experimentování s modelem se používají nejčastěji dvě metody.

1. Metoda proměnného časového kroku

Simulace zde probíhá v nepravidelných časových intervalech. Každý interval odpovídá času, kdy v systému nedochází k žádné změně. Generování časových intervalů probíhá v souladu s pravděpodobnostními charakteristikami daného systému. Časové hodnoty jsou stanoveny až na základě průběhu simulace.

2. Metoda pevného časového kroku

Metoda zjišťuje chování každého systému po konstantních časových intervalech. Přičemž dochází ke zjišťování změn během předchozího kroku. Nejčastější použití této simulace je k simulaci spojitých dynamických systémů. Okamžiky, kdy dochází ke změnám, jsou konstantní a stavové veličiny se přitom mění spojitě (ROBERT a CASELLA 2002, s. 507). Metoda Monte Carlo se používá pro stanovení náhodných veličin. Každá veličina, která mění své hodnoty v závislosti na náhodě je nazývána náhodnou. Základní dělení náhodných veličin je možné na dvě skupiny: spojitě a diskrétní. Spojitá náhodná veličina má spojitou funkci hustoty pravděpodobnosti. Rovněž zastoupená distribuční funkce má spojitý průběh. Může mít téměř všechny hodnoty z určitého intervalu. Diskrétní náhodná veličina má spojitou funkci hustoty pravděpodobnosti. Její distribuční funkce má stupňovitý tvar. Výsledné pravděpodobnostní rozdělení je poskytnuto: pravděpodobností s jakou se dílčí hodnoty objevují nebo výčetem hodnot, které může mít daná veličina (VIRIUS 2010, s. 233).

Základní řešení problému pomocí metody Monte Carlo je tvořeno třemi kroky.

1. Definice problému, jeho rozbor a stanovení návrhu modelu

Jedná se o nejzávažnější postup, vždy záleží na zkušenosti řešitele.

2. Generování a transformace náhodných veličin s daným rozdělením

3. Statistické zpracování výsledků

Hledaná hodnota je dána nejčastěji střední hodnotou (VIRIUS 1998, s. 168).

3.3.1 Výpočet π

Nejjednodušším příkladem aplikace metody Monte Carlo je výpočet hodnoty tzv. Ludolfova čísla. Aplikace je velmi jednoduchá. Jako základ bude sloužit čtvercová plocha o straně délky 1, kde se nechají náhodně generovat body s rovnoměrným rozložením. Do čtvrtkruhu patří počet bodů, které mají vzdálenost menší nebo rovnu 1 od jednoho z vrcholů čtverce. Výsledkem je poměr bodů, spadlých do čtvrtkruhu ke všem bodům. Neznámou v tomto výpočtu je plocha čtvrtkruhu. Při použití vzorce pro plochu kruhu je možné zjistit hodnotu π .

Pomocný vzorec pro výpočet.

$$\Pi = 4 (S1/S2) \tag{1}$$

Značnou nevýhodou tohoto použití je prvotní generace velkého množství bodů, aby byl dosažen přesný výsledek. Početně se jedná o náročnou operaci. Zmiňovaný postup lze obecně použít i pro výpočet určitého integrálu (VIRIUS 1998, s, 168).

3.3.2 Další aplikace metody

Nejčastější aplikací metody Monte Carlo je výpočet vícerozměrných integrálů. V integrované oblasti V se stanovuje hodnota funkce f v N náhodných bodech. Odchylku od střední hodnoty funkce f vyjadřuje směrodatná odchylka. Stejným způsobem se následně stanovuje i odchylka od střední hodnoty výsledného integrálu. Ta je pokládána za ukazatel hodnoty nepřesnosti výpočtu.

Jedním z odvětví, kde se metoda využívá je ekonomika. Její hlavní využití v tomto oboru je při měření rizika. Dále je uplatňována při finančním plánování a zároveň i při oceňování finančních derivátů. Dnešní doba přináší i možnost použití v analýze citlivosti a nejistoty.

Metoda se používá i v genetice a biologii. Jako příklad lze uvést hledání genetického algoritmu při buněčném dělení. V matematice se používá například k řešení Laplaceovy rovnice. Velké uplatnění má ve fyzice. Často se používá k částicovému modelování tzv. transportního problému nebo k modelování fyzikálních procesů se zvýšenou účinností (VIRIUS 1998, s, 168).

3.4 Přesnost metody

Celá metoda je založena na principu náhodného výběru. Z toho důvodu vyplývá, že požadovaná přesnost nemusí být vždy dodržena. V mnoha případech je lépe použít klasické statistické výpočty a metody. Příkladem může být výpočet integrálů, který je právě klasickou ukázkou, pro lepší použití statistické metody. Aby byla dodržena žádaná přesnost, je třeba v metodě Monte Carlo využít větší počet ohodnocení účelových funkcí. S tím je samozřejmě spojena značná časová náročnost. Pokud složitost daného algoritmu nenarůstá, je tato metoda výhodná při řešení složitých úkolů (KLVAŇA 2006, s. 34).

Obecně lze konstatovat, že s četností opakování roste i přesnost dané metody. Vždy je přesnost závislá na konkrétní aplikaci. Jako příklad lze uvést výpočet spolehlivosti odhadu střední hodnoty. Střední kvadratická chyba aritmetického průměru se využívá v metodě Monte Carlo pro odhad chyby výsledku. Pomocí n historií je chyba výsledku přímo úměrná $1/\sqrt{n}$. Počet historií n se musí zvýšit minimálně o dva řády, aby došlo k polepšení výsledku o jeden řád. Odhad přesnosti je založen na aritmetickém průměru s normální distribucí. Ta však nastává podle zákona velkých čísel až při rostoucím n . Z toho vyplývá, že odhad střední hodnoty je zpravidla o řád nižší. Při zvyšujícím se n se správná hodnota přibližuje. (MANNO 1999, s. 162). Důležitá je při jednotlivých pokusech jejich nezávislost na pokusech ostatních. Počet opakování může být zcela libovolný a vždy na něm závislá přesnost výpočtu. Čím více simulací proběhne, tím je chybovost výpočtu nižší. Nikdy nesmí být opomenuta možnost generování rovnoměrně rozdělených náhodných čísel (KLVAŇA 2006, s. 34).

4 VYUŽITÍ METODY MONTE CARLO VE VÝVOJI KRAJINY

GIS je jedním z hlavních nástrojů geoinformatiky. Použití metody Monte Carlo v těchto systémech bylo zmíněno v předchozí kapitole. Jako jeden z reprezentativních příkladů propojení GIS a metody Monte Carlo je možné uvést aktuální mapování povodňových rizik. Toto mapování se užívá nejen v České republice, ale i v zahraničí. Pro zkoumání dynamiky jevů v čase slouží jednotlivé časové řady. Jejich hlavní význam lze uvést v nalezení příčin. Mohou ulehčit předvídaní budoucího vývoje. Časová řada se dá charakterizovat jako posloupnost pozorování kvantitativní charakteristiky. Časově se vždy řadí od minulosti do současnosti.

Časové řady jsou zpravidla trojího typu.

1. Okamžikové časové řady

Základem je okamžikový ukazatel, který se vztahuje k jednomu konkrétnímu okamžiku. Hodnota není závislá na délce časového intervalu.

2. Intervalové časové řady

Ukazatel je přímo závislý na délce časového intervalu sledování.

3. Řady odvozených charakteristik

Jedná se o kombinaci předchozích typů, z kterých se získávají data (VIRIUS 2010, s. 233).

4.1 Změna krajiny a hodnocení softwaru pro modelování změn

Krajina je součástí života každého z nás. Vystihnout přesně význam tohoto pojmu se již snažilo několik definic. Příklad jedné z nich: „Krajina značí část území vnímanou obyvateli, jejíž charakter je výsledkem působení přírodních nebo lidských činitelů a jejich vzájemných vztahů“ (NOVOTNÁ, 2001, s. 153). Strukturálně se v ní rozlišují 3 části: krajinná matrice, plošky a koridory. Jejím vývojem se každá část krajiny mění. Změny se v poslední době začínají monitorovat za účelem pochopení těchto změn a určení vlivů, které je ovlivňují. Pro pozorování změn v krajině se rozlišují dva pojmy. Krajinný pokryv (Land cover) a využití půdy (Land use). Krajinný pokryv je konkrétní stav využívání půdy v konkrétním čase. Je monitorován pomocí metod dálkového průzkumu země. DPZ poskytuje možnost pracovat s multispektrálními daty pro různá časová období. Satelitní

snímky poskytují důležité údaje pro monitorování vývoje konkrétních složek krajiny a napomáhají porozumění jejich příčin. Využití půdy se zaznamenává podrobněji a jejich údaje se častěji aktualizují. V české republice je k dispozici evidence využívání půdy pro celé území (ČERNOHOUZ, 2011).

Ne všechny změny musí být škodlivé, ale převážná většina z nich má velký dopad na vývoj krajiny. Krajina je ovlivňována jak přírodními jevy, tak i antropogenními vlivy. Člověk v těchto změnách zaujímá nezanedbatelnou roli. Až 1,2 mil km² lesů a 5,6 mil km² luk a pastvin bylo globálně změněno k jiným účelům za posledních 300 let (RAMAKUTTY a FOLEY, 1999). Během této samé doby se zvýšila rozloha orné půdy o 12 mil km². Lidé změnili významnou část zemského povrchu. V současné době zabírají až 15% povrchu pole k pěstování zemědělských plodin spolu s městskými a průmyslovými oblastmi, 6-8% zabírají pastviny (VITOUSEK, 1997). Tento trend ovlivňující přírodní ekosystémy, je následkem celosvětové poptávky po zemědělských plodinách. Protože se nejedná pro krajinu o přirozené změny, začaly se zkoumat jejich vlivy. Pro vytváření strategií pro trvale udržitelný rozvoj je prvním krokem pochopení příčin, které vedly k jednotlivým modifikacím. V případě rozšiřování zemědělských polí, kde se jedná o nejčastější přeměny, se zjišťují postupy zemědělské intenzifikace a technických inovací. Pro šetření těchto případů je důležité mít k dispozici aktuální a přesné údaje o stavu krajinného pokryvu. Tyto informace jsou pro politická a plánovací rozhodování zásadní. Díky nim se hodnotí rizika, vytváří se priority a hledají se aktuální trendy. Pomocí různých studií se zjistilo, že mohou mít tyto jiné způsoby využívání země zásadní význam i pro budoucí změnu klimatu, zachování biologické rozmanitosti a následných možností v dalším využívání půdy (MADURAPPERUMA, 2013). Studie zabývající se touto problematikou by měly pomoci k pochopení interakce lidských činností na přírodních zdrojích a jejich vývoje. Americké ministerstvo vytvořilo program Globální klimatické změny, ve kterém si vytvořily k tomuto zjišťování 3 základní body programu.

1. Identifikace a posouzení pravděpodobnostních dopadů změn ve struktuře a funkci lesních ekosystémů na lidskou společnost v reakci na globální změny klimatu
2. Identifikace a vyhodnocení potenciálních možností politických rozhodnutí na venkovské a městské lesnictví za účelem zmírnění a přizpůsobení se globálním klimatickým změnám

3. Identifikace a vyhodnocení potenciálních činností venkovského, městského a lesního hospodaření za účelem zmírnění rizik globálních klimatických změn

Výše uvedená metodika zkoumání změn je zaměřena na globální dopady. Vznikají ale také modely, podle kterých se zjišťují místa a důvody změn pro menší území. Tyto modely jsou postaveny na pevných základech vědy a jejich simulace jsou závislé na tom, jak kvalitní a přesná data se v simulacích používají. Přestože je snaha dělat modely tak, aby se v jejich výpočtech pracovalo s takovými parametry, které vystihují dané území nebo jev co nejlépe, nelze od nich očekávat naprosto přesné a jasné výsledky. Jedná se vždy o simulace, které se ale díky vyspělejšími technologiím neustále zpřesňují. Dnes už lze výsledkům z nich přiřazovat vysokou váhu a často podle nich činit svá rozhodování.

Pro odhadování vývoje a změn v krajině se používají různé modely a nástroje. V jejich výpočetních algoritmech se vyskytují často Monte Carlo techniky pro určení pravděpodobnostních odhadů změn krajinného pokryvu. Pro simulování změn krajinného pokryvu se používá Markovových analýz. Poslední dobou se k výpočtům a obzvláště u krajinného pokryvu začínají používat nové funkce k získání přesnějších výsledků. Mezi tyto funkce nebo údaje se dá zařadit sledování věkové struktury, informace o přechodech z minulých událostí, určení cílů pro některé přechody a různé přechodové poměry v průběhu času (DANIEL a FRID, 2011). U Markovových řetězců se vyskytuje několik předpokladů. V analýzách Markovovými řetězci se změny pokryvu a využívání půdy považují za stochastické jevy v diskrétním čase (PARZEN, 1962). V řetězcích se objevuje taková vlastnost, že každý výsledek určitého pokusu závisí na výsledku předchozího pokusu. **M**-tý pokus závisí na výsledku pokusu **m-1** a pro určitý čas **n** je stav systému závislý pouze na konkrétním stavu systému v čase **n-1**.

$$P\{X_{n+1} = s_{n+1} | X_0 = s_0, \dots, X_n = s_n\} = P\{X_{n+1} = s_{n+1} | X_n = s_n\} \quad (2)$$

Při výpočtech se vychází z náhodného nebo pevného stavu systému. Následně se sestavuje matice přechodu Markovského řetězce, který vzniká z podmíněných pravděpodobností přechodu. Pravděpodobnosti určitých stavů v čase **n** je vystihnuta absolutní pravděpodobností, která se počítá z jednotlivých kroků z jednoho stavu do druhého (DÖMEOVÁ, 2010; WENG 2001).

Dnes se používají k výpočtům a modelování změn využívání půdy a změn krajinného pokryvu satelitní snímky, které v dřívějších zkoumáních nebyly tak rozšířené. Používala se data vzniklá vzorkováním z terénních průzkumů, existujících map nebo leteckého snímkování. Je zřejmé, že výsledky z těchto studií při použití těchto dat obsahují nemalý počet nejistot. Použitím satelitních snímků lze dosáhnout lepších analýz a přesnějších výsledků. Pro modelování změn ve využívání půdy nebo změn v krajinném pokryvu je zapotřebí udělat spoustu kroků. Musí se skloubit Markovovo modelování s technikami DPZ a GIS. Se stále dokonalejšími nástroji se ale celý postup pořád usnadňuje. K modelování krajiny vzniklo již mnoho modelů. Každý z nich pracuje na různých principech a pracuje s různými kritérii. Rozlišování modelů podle kritérií provedl Baker (1989).

Výčet nejvíce vystihujících se kritérií z jejich studií.

1. Míra do jaké jsou procesy ekosystému simulovány mechanicky
2. Stochastické nebo deterministické modely. Deterministické modely dělají předpovědi pouze pro jednu budoucnost, zatímco stochastické modely předpoví distribuci možných budoucností.
3. Velikost území, na kterém se vyskytuje proces ekosystému
4. Míra, do jaké je prostorová dynamika procesu reprezentována explicitně
5. Rozsah ekosystémů, na kterých se modely používají. Nejčastěji se jedná o lesní ekosystémy

Hlavními faktory ovlivňující výsledky simulací jsou klima, topografie a půda. Spolu s těmito faktory je spojováno i mnoho dalších antropogenních a přírodních vlivů. Podle rozsahu a požadavků na konkrétní analýzu se určuje velikost prostorové proměnlivosti. V simulacích, které využívají přechodových pravděpodobností mezi simulačními buňkami, se rozlišují 3 druhy prostorové proměnlivosti. První druh považuje krajinu za jeden celek. Zde se počítají předpovědi pro celou oblast v průběhu času pro každé stádium. Ve výpočtech se nepracuje s polohou a konfigurací simulačních buněk, každá buňka je simulována nezávisle na ostatních, jeví se jako prostorová kopie v MC simulaci. Ve druhém druhu se využívá stratifikace. Krajina se stratifikuje podle kritérií ovlivňujících krajinu nejzásadněji. Každá vytvořená vrstva se pak hodnotí individuálně. Jedná se také o momentálně nejpoužívanější přístup. Poslední druh prostorové proměnlivosti je prostorově explicitní přístup. Tento druh počítá na rozdíl od prostorově

stratifikovaného přístupu navíc s řadou důležitých doplňků. Pro každou simulační buňku lze získat vlastní přechodové pravděpodobnosti. Simulační buňky berou v úvahu lokaci a stav okolních buněk. Minulé i přítomné stavy okolních buněk mohou ovlivňovat pravděpodobnostní přechody mezi buňkami. Této skutečnosti se využívá při modelování rozšiřujících se přechodů krajinou, např. požáry. Který z přístupů prostorové proměnlivosti se v analýzách použije, záleží na dostupném času a prostředcích důležitých pro modelování (DANIEL a FRID, 2011).

K těmto výpočtům a modelování vzniklo již několik nástrojů, v následujících řádcích se zhodnotí ty nejzajímavější z nich a vyzdvihnou se jejich klady a zápory.

Land Change Modeler

Tento software vyvíjený společností Clark Labs je aktuálně poskytován již ve své druhé verzi. Je možné ho použít na platformě Windows jako součást IDRISI Selva a jako extenzi pro ArcGis. Extenze bohužel není kompatibilní s verzí ArcGis 10. Dostupných je několik licencí. Pro IDRISI Selva, kde se platí za celý software, se cena pohybuje od US\$95 pro studenty na jeden rok až po US\$1250 pro komerční využití. Extenze Land Change Modeleru pro ArcGis stojí US\$39 na rok pro studenty a neomezené využití US\$395. Uvedené ceny jsou pro jednotlivce, je možné pořídit multi-licenční balíčky se slevami pro obě možnosti. Licence je možné si zakoupit na webových stránkách Clark Labs nebo na stránkách českého distributora Aquion.

Land Change Modeler provádí analýzy a předpovídá změny pokryvu. Obsahuje také nástroje, pomocí kterých je možné analyzovat, měřit a promítat dopady na prostředí a biologickou rozmanitost. Ve své druhé verzi se objevily nástroje pro modelování změn klimatu, emisí CO₂ a ostatních skleníkových plynů. Dále je možné definovat hranice analyzovaných změn krajiny, sledovat vliv kácení lesních porostů na zvyšování skleníkových plynů v atmosféře, projektovat zájmové oblasti, ve kterých je navrženo snížení emisí (REDD+), odhadovat změny zásob uhlíku a dalších skleníkových plynů. Na konferenci v USA byl přijat jako nejpoužívanější nástroj pro modelování.

Data používá v rastrovém formátu IDRISI (.rst) a IDRISI vektorovém formátu (.vct), dále také formáty (.rgf, .tsf, .vtx, .vgf) Když se použije vektorových složek pro práci v extenzi pro ArcGis, pole hlavního ID musí obsahovat atributové ID ne postupné ID. Jakákoliv složka podporovaná v ArcGisu se může načíst do Land Change Modeleru,

automaticky se zkonvertuje na formát IDRISI. Pro jistotu správné konverze je lepší si data připravit v ArcGisu. Pokud se vyskytnou problémy při importování rastrových formátů a formátu (.tif) nabízí se možnost použití rozhraní GDAL v IDRISI. GDAL je knihovna, kterou rozvíjí Open Source Geospatial Foundation, pro konverze rastrových formátů. Pro využití této možnosti je potřeba do IDRISI stáhnout a nainstalovat modul zvaný GDALIDRISI pro import a export složek. Land Change Modeler podporuje také ESRI GRID a Shapefiley, které jsou 4-bitová čísla s pohyblivou řadovou čárkou (floating point), 2-bitová celá čísla se znaménkem (signed integer), nezáporné bity (unsigned byte) a celá nezáporná i záporná čísla (signed integer). Pokud data v takovém formátu nejsou, je potřeba zkonvertovat rozsah dat v ArcGisu, nebo exportovat do Geotiffu (.tif) nebo formátu (.img).

Všechny použité mapy musí obsahovat stejné kategorie v sekvenčním pořadí, stejně tak všechny použité složky musí mít stejné prostorové parametry, projekci, velikost buněk, prostorový rozsah, prostorové rozlišení, řádky a sloupce. Hodnocení bylo provedeno na základě poskytnuté třicetidenní trial licence v Land Change Modeleru v IDRISI 17 The Selva Edition.

Klady a zápory:

- + mnoho analýz mezi dvojicí map
- + zvýraznění změn
- + zhodnocení efektu změn na biodiverzitu
- ztráta kategorií v legendě při importování složek z IDRISI do ArcGis
- nekompatibilita s ArcGis 10

LanduseSim

LanduseSim byl vyvinut Nursakti Pratomoatmojoem v roce 2013. To je člen Odboru Městského a Regionálního plánování v institutu Teknologi Sepuluh Nopember. Jedná se o software, který pracuje s rastrovými daty a vytváří simulace dynamiky využívání půdy a krajinného pokryvu. Své uplatnění v něm najdou urbanisté, regionální plánovači, geografové, vědci životního prostředí, vývojáři, plánovací agentury, zúčastněné strany, které mají zájem o plánování a řízení územního rozvoje. Dají se podle něj vytvářet simulace a předpovědi nekontrolovatelného rozšiřování městských oblastí

(Urban spawl). Dokáže vysvětlovat možné příčiny změn ve využívání a krajinného porostu, vytvářet množství plánovacích scénářů, vyhodnocovat a simulovat plány. Zpočátku byl vyvíjen jako samostatný software, přesto ale některé operace vyžadují použití GIS, a to zejména při přípravě vstupních dat do LanduseSim. Příprava dat je možná např. v ArcGisu, kde se data zpracují do rastrového formátu a to takovým způsobem, aby všechny používané mapy obsahovaly stejný počet řádků a sloupců. Pro modelování se využívá Cellular Automata algoritmu, pro zajištění platného výpočtu. Aktuálně je dostupná verze 2.2. LanduseSim je možné používat pouze na platformě Windows. Pro podrobnější hodnocení se nepovedlo získat trial verzi, hodnocení vzniklo z dostupných tutoriálů.

Klady a zápory:

- + samostatný software
- + dokáže velmi rychle pracovat s velkými objemy dat
- + vysoká výpočetní účinnost pro procesor (CPU)
- nutnost úprava ASCII souboru před vstupem
- slabá odezva supportu

SemGrid

SemGrid nebo také jednoduchý snadný správce gridových dat (Simple easy manager of grid data). Byl vytvořen pod taktovkou Francesca Danusa na půdě Univerzity v Udine, Oddělení Zemědělských a Environmentálních Věd. Jak sám název napovídá, jedná se o GIS software, který pracuje s rastrovými daty. Funguje pouze na operačním systému Windows a je volně dostupný na internetu, dostupný je také v Basic a C++ zdrojovém kódu. Poskytuje funkce jako import a export gridů s různými formáty. To je možné provést několika způsoby. Z panelu nástrojů, kde se vybere tlačítko s šipkou dolů pro import a pro export tlačítko s šipkou nahoru. Z nabídky File, kde je přímo Import a Export, nebo pomocí příkazů. Importovat a exportovat lze vrstvy následujících formátů. GeoMedia ascii grid (.asc), Idrisi ascii/binární rastrové složky (.rdc, .rst), ArcGis ascii grid (.txt), ArcInfo float binární grid (.hdr, .flt), Surfer ascii grid (.grd), SEMoLa binární hyper grid (.ary), GRASS ascii grid (.gag), Bitmap (.bmp). Dokáže se také vypořádat s mapovou algebrou, výpočty Markovových řetězců a statistickým hodnocením dat. Celý

gridový projekt, který obsahuje více než jednu vrstvu, je možné exportovat jako (.dct) SemGrid dctfile, (.csv) comma separated value, což jsou hodnoty oddělené čárkami, (.eas) Geoeas datafile a nebo (.dbf) dBaselll datafile.

SemGrid dokáže také vytvářet mapy. Používá se převážně pro zpracování informací, dat z určité lokality, hodnocení nebo klasifikaci využívání půdy. Je možné v něm vytvářet simulace v jazyku SEMoLA, Jednoduchý snadný modelovací jazyk (Simple easy modelling language) aktuálně ve verzi 6.7.1. Vznikají z něj dva druhy modelů. Samostatně spustitelný model nebo DLL model, který potřebuje ke svému spuštění nástroj, např. SemGrid. Modely počítají jednotlivě všechny buňky, které jsou na gridu.

Klady a zápory:

- + samostatný program zdarma
- + implementace Gstat
- + neustále se vyvíjí
- nutná znalost jazyku SEMoLA pro vytváření simulací
- poměrně složitá tvorba výstupových map

GoldSim

GoldSim je vyvíjen od roku 1990 na popud Amerického Odboru Energií, který chtěl vytvořit software, který by jim pomáhal v řešení problému s radioaktivními odpady. Příležitosti se chopila společnost nazvaná GoldSim Technology Group a začala s tvorbou dynamického, pravděpodobnostního simulačního softwaru pomocí programovacího jazyka C++ na operačním systému Windows. Od svého počátku je neustále vyvíjen a jeho použití se rozšířilo mezi nejrůznější obory, převážně ale do oblasti životního prostředí, řízení rizikových analýz s uplatněním v oblastech, kde je potřeba kontrolovat využívání vody, těžby, geologického ukládání oxidu uhličitého nebo analýzy leteckých emisí. Výpočty jsou postaveny na základech Monte Carlo simulací. Výsledky jsou poté získávány simulováním pravděpodobných situací, a ukazují možné nejistoty a rizika vyplývající z celého systému.

GoldSim je možné pořídit v několika licencích. A to GoldSim Pro, což je komerční verze, která obsahuje základní funkcionality pro vytváření modelů. Cena pro

tuto verzi je US\$4450. GoldSim Pro je možné zakoupit také v některém z nabízených balíčků, kde jsou k samotné licenci k dispozici dvou až čtyřdenní školení pro čtyři lidi. Cena těchto balíčků se pohybuje okolo US\$12450. Získat lze také akademickou licenci, která je zdarma, ale má omezené použití. Pro plné využití všech funkcí je nutné k této licenci přikoupit GoldSim Research, který doplní totožnou funkcionalitu jakou má GoldSim Pro, za US\$950. Samotné spuštění a prohlížení simulačních modelů je možné pomocí GoldSim Player, který je zdarma. Licence jsou k dispozici na webových stránkách GoldSim. Pro hodnocení byla poskytnuta třicetidenní trial licence pro verzi GoldSim 11.

Prostředí GoldSim je orientováno objektově. Přestože prostředí působí intuitivním dojmem, pro vytváření modelů je zapotřebí mít dobře zvládnuté alespoň základy kvantitativní analýzy. Modely se vytváří manipulací s grafickými objekty. Každý objekt reprezentuje vlastnosti, procesy a události, které vytvářejí systém, který má být simulován. Objekty se v prostředí GoldSim označují jako elementy. Z elementů se skládá celý model. Pro přehlednost je možné si elementy pojmenovat a graficky označit, do elementů se vkládají konkrétní data. Data se ukládají do vstupních elementů, které mají tři různé podoby. Datové elementy, kde se vkládají konkrétní hodnoty, např. hloubky vody. Elementy časových řad, kam se vkládají hodnoty za určité období, např. kolik napadlo sněhu za týden. A stochastické elementy, do kterých se vkládají nejisté vstupy pomocí jejich pravděpodobnostního rozdělení. Data lze také načítat z tabulkových procesorů a také je do nich exportovat. Dále se používají funkční elementy, které vyjadřují potřebné funkce, a které počítají výstupy na základě definovaných vstupů. K tvorbě modelu je tedy potřeba mít správně nadefinovány vstupní elementy a danou funkci. Elementy se poté mezi sebou spojují linkami a šipkami. Před spuštěním vytvořeného modelu lze správnost modelu zkontrolovat, jestli se v něm nevyskytují nežádoucí chyby, pomocí speciálního spuštění modelu přímo v GoldSim. Kombinovat a spojovat mezi sebou je možné i vzniklé modely. Celý komplexní model může mít i několik stovek elementů a spojujících linek.

Klady a zápory:

- + samostatný program, akademická licence zdarma
- + automatický převod jednotek vstupních dat
- + přehlednost modelů, elementy je možné vkládat do podsložek, kontejnerů

- licence pro plnou funkčnost je poměrně drahá
- nutná znalost vytváření modelů

Vegetation Dynamics Development Tool

VDDT, Nástroj pro hodnocení vývoje vegetační dynamiky. Vytvořila ho kanadská společnost ESSA Technologie Ltd. Tato společnost se specializuje na podporu rozhodovacích procesů v oblastech životního prostředí a společenských věd. Jejich nástroj VDDT je postaven na operačním systému Windows. Je dostupný na požádání a vyplnění potřebného formuláře na webových stránkách společnosti ESSA. Pro hodnocení byla získána verze 6.0.25. Poskytuje stavově přechodové modelování krajiny za účelem zjištění, co změny ovlivňuje a podporuje. Tato vlastnost umožňuje vytvářet a testovat vegetační změny a zároveň je také simulovat. Změny ve vývoji krajiny a vegetace ovlivňuje mnoho faktorů. Mezi ty nejzásadnější lze zařadit lidskou činnost, požáry, hmyz, patogeny, počasí nebo růst a hospodářská soutěž. Vlivy možných činitelů se navzájem různě kombinují, a proto není jednoduché dynamiku změn odhadovat. VDDT používají odborníci z různých odvětví, aby si otestovali své předpoklady k vývojem, k jakým dospěli. Jsou to specialisté z oborů ekologie, lesnictví, entomologie, patologie, šíření ohně nebo biologie. Výsledky simulací poskytují prostředky pro komunikaci a učební pomůcku zainteresovaných osob. V USA a Kanadě se nejvíce používá pro simulaci šíření ohně.

Vstupní údaje se vyplňují pomocí definičních složek, což jsou textové soubory obsaženy přímo ve VDDT. Složky potenciální vegetačních typů (.pvt), složky scénářů (.sc) a složky lokací (.loc) se v novějších verzích získávají z databáze VDDT. Výsledky je možné exportovat do textových souborů (.txt) nebo celý projekt vyexportovat do databáze (.mdb) nebo jako projekt (.prj). Ke tvorbě modelů využívá Přechodových spojovacích diagramů (Transition Pathway Diagrams). Ty definují třídy v tzv. boxech, které jsou mezi sebou spojovány liniemi s šipkami, které ukazují přechody mezi třídami, pro každý potenciální typ vegetace. Tyto diagramy znázorňují všechny možné způsoby, kterými by se mohla jedna buňka změnit z jedné třídy na druhou. Každý box reprezentuje jednu třídu a je automaticky označen pomocí písmene. Po vyplnění boxů a linií s šipkami zobrazující možné přechody změn, se model spustí. Ve výchozím nastavení se zobrazí všechny definované přechody. Pro pravděpodobnostní modelování je nutné ve

vlastnostech boxů vyplnit jejich pravděpodobnosti přechodů pro každou možnost. Doplňují se hodnoty menší nebo rovny nule.

Klady a zápory:

- + samostatný program zdarma
- + možnost získání vstupních dat z databáze
- pracuje se staršími algoritmy, dále se nevyvíjí

ST-Sim

ST-Sim byl vytvořen společností Apex Resource Management Solutions Ltd. jako modul pro SyncroSim. SyncroSim je program pro vytváření stochastických simulací, připojování vytvořených modulů, spouštění Monte Carlo simulací, definování scénářů modelových vstupů a vytváření map a grafů z výstupů. Přestože je nabízen na požádání a vyplnění formuláře zdarma, nebylo umožněno jeho stažení. Společnost ApexRMS je tým vědců a softwarových developerů se zaměřením na ekologické modelování, vývoj systémů podporující rozhodování, analýzu dat a interpretaci.

Pomocí ST-Sim je možné vytvářet a realizovat prostorově explicitní, stochastické stavově přechodové modely vegetačních změn, simulovat a porovnávat vegetační podmínky v určitém období. ST-Sim je nejnovější z vyvíjených stavově přechodových simulačních nástrojů a obsahuje také Vegetation Dynamics Development Tool (VDDT), Tool for Exploratory Landscape Scenario Analysis (TELSA), Path Landscape Model (Path). Běží na operačním systému Windows, aktuálně se pracuje na podpoře pro Linux.

Vstupní data se ve starších verzích doplňovala z knihovny, databáze ST-Sim. V novějších verzích je možné přidávat své vlastní rastry. Z knihovny lze také používat celé projekty, které je potřeba stáhnout do počítače a pak spustit jako nový projekt. Projekty se skládají ze samotného projektu, v kterém jsou uloženy scénáře, každý s vlastními vstupy. Scénáře se upravují podle potřeb při jakých časových krocích a po kolika Monte Carlo iteracích se má model spouštět. Ve scénářích se také konkretizují výpočtové diagramy, nastavují počty simulovaných buněk a podíly krajiny v každé vrstvě. Po doplnění požadovaných vstupů se může model spustit a poté zvolit možnost zobrazení výsledků. Volba se provádí v prohlížeči výsledků scénářů. Na výběr jsou liniové nebo sloupcové grafy. Jednotlivé výsledky scénářů lze mezi sebou také porovnávat v jednom grafu. Výsledky je možné také vyexportovat a zobrazit v Excelu.

Klady a zápory:

- + zdarma
- + aktivní a pohotový support
- modul pro SyncroSim

4.2 Vzorkování

Vzorkování je nedílnou součástí studií, které se provádí v přírodě ale i mimo ni. Reprezentativními vzorky se získávají dostupné údaje pro celé oblasti. Vlastnosti těchto vzorků se pak považují za vlastnosti celé populace. Z tohoto důvodu je zřejmé, jak moc důležité je dobře stanovit odběr vzorků a zároveň i zjistit optimální počet vzorků. Vždy je snaha o to, vybrat vzorky takovým způsobem, aby co nejlépe vystihovaly chování určitého jevu za použití co nejmenšího množství prostředků a popř. i času. Pro každý jev může být vhodná jiná strategie vzorkování. Kvalitně zvolené reprezentativní vzorky mají za následek dobré výsledky šetření (MAEDA, 2010).

Při práci s přírodními okolnostmi se využívá převážně náhodného, pravděpodobnostního vzorkování. Existuje ještě nenáhodné vzorkování, které se ale pro rozmanitost a náhodnost přírodních jevů u nich příliš nepoužívá.

Náhodné vzorkování lze rozdělit na:

- prosté náhodné vzorkování – zde má každý vzorek stejnou pravděpodobnost výběru,
- stratifikované náhodné vzorkování – oblast se rozdělí na několik částí, které si jsou svými vlastnostmi co nejvíce podobné, a jednotlivé vzorky se vybírají z každé části samostatně,
- systematické náhodné vzorkování – využívá se pravidelné vzorkovací sítě,
- shlukové náhodné vzorkování (KITAMBARA, 2009).

Metodu Monte Carlo v krajinných výzkumech lze použít pro výpočet optimálního počtu bodů, který je nutné navštívit, nebo určit jejich hodnotu, za dodržení vystihují se charakteristiky oblasti. Na těchto základech vznikla ukázková studie této práce, která bude popsána v kapitole 5.

4.3 Povodně

Využití metody Monte Carlo se ukázalo vhodné při analýze a mapování povodňových rizik. Povodňové riziko je definováno na základě výskytu tří skutečností.

1. Vystavení riziku - obyvatelstvo, příroda, majetek atd.
2. Nebezpečí - srážko-odtokový proces, který se vyjadřuje ve formě pravděpodobnosti výskytu hydrologického jevu
3. Zranitelnost - míra schopnosti odolávat povodni

Na základě provedených analýz a kombinace s dalšími údaji se vyhotovují informace o působení povodní. Pro určování nejistot parametrů pro analýzy se využívá MC simulace k odběru vzorků z jejich předem stanoveného pravděpodobnostního rozdělení. Dalším krokem je vytvoření nebo použití nástroje, který pracuje s těmi vzorky pro řízení povodňových rizik. MC simulace se již mnoho let používá pro odhad proměnlivosti počasí a faktorů v povodí k vyřešení hydrologických problémů.

Při modelování hydrologických systémů se objevují dva zdroje náhodných proměnných, které mohou ovlivňovat odhadované systémové výstupy.

1. Přírozené časové a prostorové proměnné počasí a faktory povodí, které se modelují
2. Náhodné proměnné vyplývající z nevyhnutelných nejistot v definici struktury modelu, modelových výstupů a v odhadování modelových parametrů (QI a kol., 2005)

K určení dopadů modelu a parametrových nejistot slouží výsledky z MC simulace.

Potřebné kroky k provedení MC simulace pro povodňový odhad.

1. Výběr vhodného simulačního povodňového modelu
2. Identifikace modelových vstupů a parametrů, které mají být stochasticky generovány
3. Definování proměnných vstupů a parametrů pomocí vhodných rozdělení a korelací
4. Monte Carlo simulace povodní - model je spuštěn N krát, kde na každém kroku simulace je generována sada n vstupů a výsledky se zaznamenávají. Stochasticky generovány musí vstupy, které mají zásadní vliv na výsledky. Ostatní vstupy se

mohou považovat za fixní hodnoty (obvykle průměr nebo medián). Pro přípustné vzorkování přirozené variability v systémech je zapotřebí spousta mnohdy i tisíce simulací

5. Konstrukce odvozené povodňové frekvenční křivky (QI a kol., 2005)

Výsledky mohou být zobrazeny ve formě rastrové nebo vektorové mapy jako pomůcka pro lepší rozhodování při rizicích povodní. Dále se například provádí vyhodnocení potenciálních povodňových škod pro dílčí objekty nebo vyjádření míry rizika stupněm ohrožení. Závislost je dána hloubkou a rychlostí pro každý typ objektu zvlášť. Rovněž se může stanovovat míra potenciální škody pro daný typ objektů. Metoda Monte Carlo lze využít při výpočtu potenciálních povodňových škod na objektech v daném záplavovém území. Nejčastěji je zde použita tzv. metodika ztrátových křivek. Samotná metoda odhadu škody vychází ze základního vztahu, v kterém je stanovena výše škody pro povodňový průtok Q_N . S ohledem na skutečnost, že hodnoty ztrát jsou stanoveny na základě statistického hodnocení, není možné pro jednotlivé konkrétní objekty stanovit jednoznačnou hodnotu. Z toho důvodu dochází k stanovování minimální a maximální hodnoty. Souhrn škod pro všechny dílčí kategorie pak odpovídá celkové škodě v posuzovaném území s průtokem Q_N . Potenciální povodňové škody se vyjádří pro jednotlivé N-leté průtoky. Na základě těchto výsledků a právě pomocí metody Monte Carlo dojde k vyhodnocení průměrné roční škody pro jednotlivé objekty, ale i celé území. Výsledky se zobrazují pomocí grafů (území i objekty). Určení míry potenciální škody vychází z definice potenciální škody pro daný průtok a typu objektu v celém zájmovém území. Nejprve dojde k určení hodnoty ztráty L pro danou kategorii. Ta se nejčastěji počítá v jednotkách 1 m^2 . Záleží na zaplavení nebo hloubce zaplavení a rychlosti právě pro jednotkovou plochu. Hodnota ztráty L se určí jednotlivě pro N-leté průtoky, kdy dochází k vylití koryta a tím vzniku škod. Z toho lze pomocí metody Monte Carlo nebo pomocí integračního postupu vyjádřit průměrnou roční škodu (vždy pro danou jednotkou plochy). V celém řešeném území pro daný typ objektu (v kombinaci s jednotkou plochy) dojde k určení průměrné potenciální roční škody způsobené povodní. Výsledky jsou nejčastěji zobrazovány pomocí map.

V současnosti je tato analýza rizika používána na určení rozsahu průtoků Q_5 , Q_{20} případně Q_{100} a jeho aktivní zóny. Vždy se tedy jedná hlavně o území, které odvádí většinu celkového průtoky a dochází v něm k bezprostřednímu ohrožení života lidí, jejich

zdraví a majetku. Bohužel takto vymezené záplavové území neobsahuje dostatek informací pro územní plánování v inundačních oblastech. Podklady, které vznikají pomocí metody Monte Carlo, je poté vhodné kombinovat do dalších map pomocí GIS nástrojů. Díky tomu dochází k rozšíření informace o další varianty (HAVLÍK, 2004).

4.4 Sesuvy půd

V oblasti nebezpečí sesuvů půd se hojně využívá GIS. Ale i MC simulace zde najde své uplatnění. GIS má silné funkce pro prostorově distribuovaná data, jejich zpracování a analýzy s daty. GIS může často usnadnit práci při vyhodnocování sesuvů. Data se získávají obvykle přímo v terénu s možnou pomocí leteckých snímků.

Mapování rizik sesuvů za pomoci GIS lze klasifikovat do 3 skupin.

1. Kvalitativní metodologie - tento přístup je založen zcela na úsudku
2. Statistická metodika - nepřímá metoda, ve které je buď pravděpodobnostní funkce, nebo index odvozen z konkrétních vážených faktorů
3. Geotechnická modelově založená metodika - jsou založené na fyzikálních pravidlech zachování hmoty, energie, spádu (kinetická energie). Parametry použité v těchto modelech mohou být stanoveny přímo v terénu nebo v laboratořích. Modely, které uvažují prostorové rozložení vkládaných parametrů, potřebují mapy, které mají prostorové rozložení používaných dat.

Rizikem svahových procesů pro společnost a životní prostředí se zabývá spousta vědeckých studií. Sesuvy půd a vznik roklí vedou ke ztrátě polních pozemků a výnosů z polí. Mohou vézt i ke škodám na majetku a v extrémních případech i ke ztrátě na lidských životech. Často se tyto procesy označují z geomorfologického hlediska jako procesy formující krajinu (KUKEMILKS a SAKS 2013).

4.4.1 Statistická metodika

Statistickou metodikou se korelují počty sesuvů v určitých oblastech s faktory, které mohou sesuvy ovlivňovat. Jedná se o potenciální faktory, jako je hustota vpustí, výška svahu, objem jílu, úhel sklonu a profil svahového zakřivení. Využívá se prediktivních funkcí nebo indexů odvozených vážených faktorů, které pak napomáhají při

tvorbě map citlivosti sesuvů. Pro zkoumání problému tímto způsobem se vybírají větší oblasti, kde je typická hustota sesuvů v úzkých pásech, např. svahy údolí řek. Metoda Monte Carlo se v této metodice používá ke zjištění, jestli dochází mezi sesuvy k určitým shlukům. K tomuto zjištění se vygeneruje do studované oblasti stejný počet náhodných bodů, jako bylo identifikováno v terénních šetření sesuvů. Pomocí prostorové analýzy a distribuce faktorů ovlivňující tyto krajinnotvorné procesy se určuje důležitost každého faktoru a zařazení těchto faktorů do odpovídajících tříd podle jejich role a významu u vzniku sesuvů. Počítá se index blízkosti podle (GUSTAFSON a PARKER, 1994). V několika samostatných opakování se generuje stejný počet bodů a zjišťuje se vzdálenost mezi nimi a náhodnými body.

Váhy získané z korelační analýzy slouží k výpočtu indexu citlivosti sesuvu (LSI) podle Lee (2004). Nakonec se vytvoří zóny pro citlivost sesuvu. Hranice mezi jednotlivých zónami se vytváří podle rozdílů mezi jejich hodnotami, které se považují za důležité. Pro kontrolu vytvořených hranic citlivosti sesuvů se používá skupina sesuvů navštívených v terénu (KUKEMILKS a SAKS 2013).

4.4.2 Geotechnická modelově založená metodika

U tohoto přístupu se analyzuje mechanická vyváženost potenciálních míst sesuvů a počítá se bezpečnostní faktor. V modelech se počítá s fyzikálními pravidly jako je zachování hmoty, energie, spádu. Jednotlivé hodnoty parametrů se stanovují přímo v terénu nebo se zkoumají v laboratořích. Kvůli potřebě zpracovávat a kontrolovat velké objemy dat je použití tohoto přístupu limitováno na malé oblasti. U větších oblastí je díky výpočetní náročnosti a složitosti algoritmů jejich použití téměř vyloučeno. Většina výzkumů se proto provádí pomocí statistických metod, kde se určují vztahy mezi sesuvu a jejich souvisejících faktorů. Tato metodika byla popsána v předchozí kapitole.

Tvorbou geotechnických modelů se zabývají inženýrská stavitelství a inženýrská geologie. Metody Monte Carlo se používá k řešení parametrových nejistot. Simuluje se pravděpodobnostní jev vypočtením distribuce proměnné pomocí matematického modelu.

Potřebné kroky pro simulaci Monte Carlo pro pravděpodobnost sesuvu.

1. Generování pravděpodobnostního rozdělení proměnných použitím Monte Carlo simulačních technik

2. Výpočet svahového bezpečnostního faktoru pro určitý pixel za použití pravděpodobnostních proměnných. Po n výpočtech lze získat pravděpodobnostní křivku svahového bezpečnostního faktoru.
3. Opakování těchto výpočtů pro každý pixel a vytvoření pravděpodobnostní mapy sesuvů (ZHOU a kol. 2002)

Výsledné mapy mohou posloužit v rozhodovacích a plánovacích procesech pro novou zástavbu nebo zemědělské aktivity. Při použití deterministického modelování nastává problém se zpracováním velkých objemů prostorově orientovaných dat a parametrických nejistot. Tyto problémy se řeší manipulací a analýzou těchto dat v GIS prostředí a MCS metod (XIE a kol. 2003).

4.5 Požáry

Požáry způsobují obrovské ekonomické a ekologické škody. Když nebereme v potaz kácení tropických deštných pralesů, jsou požáry hlavní příčinou úbytku lesů. Úbytek lesů narušuje životní rovnováhu, vede k erozi půd a náplavě řek. Větší úbytek lesů může způsobovat globální oteplování. Vznik a příčiny požárů ovlivňuje mnoho faktorů od topografie, typu půdy, vegetačního pokryvu až ke klimatickým podmínkám. Většina požárů proto vzniká ve středomoří, kde je teplé a suché podnebí. Požáry vznikají v největší míře lidskou zásluhou, proto se začaly vytvářet protipožární opatření.

Mezi nejrozšířenější pomůcky při řízení těchto opatření je tvorba rizikových map šíření požárů. Mapy jsou typicky menšího měřítka s nízkým rozlišením. Vytvářet mapy šíření požáru pro malé oblasti nemá smysl, protože v takových případech je šíření požáru ovlivňováno aktuálními povětrnostními podmínkami, stavem počasí a konkrétní topologií. Je patrné, že určování chování požáru není jednoduchá záležitost. K vyřešení těchto situací se využívá simulací, kde se uplatňují techniky metody Monte Carlo. První, kdo využil mnohonásobné simulace rozšíření požáru pro tvorbu rizikových map požáru, byl Mbow a kol (2004). Pomocí simulace vyznačili shořelé a neshořelé oblasti. Další studie pracují s dokonalejšími přístupy, v kterých se zahrnuje prostorová distribuce potenciálních zdrojů vznícení, vegetační pokryv a mnoho dalších parametrů za pomoci Monte Carlo simulační technik.

Simulace probíhá tak, že se vybírají náhodně parametry z předem určených distribucí ze simulačního modelu. Celá situace se několikrát opakuje v samostatných

běžích, kde každý běh představuje jeden simulovaný požár. Všechny vzniklé mapy rozšíření požáru se navzájem překryjí. Překrytím vzniknou místa, kde se nasimulovalo nejvíce požáru a místa, kde se požáru vyskytlo nejméně. Z rozmístění frekvence požáru se vytváří rizikové mapy šíření požáru (CARMEL a kol. 2009, AUA a kol. 2007).

4.6 Rozhodování a nejistoty

Při vytváření rozhodovacích procesů u plánování nebo změně využívání půdy se nelze nevyhnout určitým nejistotám, které při provádění nejrůznějších průzkumů nastanou. Zdrojem těchto nejistot může být nedostatek potřebných informací, složitost přírodních systémů nebo lidské chování. Nejistoty vzniklé z nedostatků údajů jsou často nazývány jako chyby modelu. Nejistoty mohou také vzniknout, pokud se šetření zúčastní větší počet odborníků na danou problematiku. Každý z těchto odborníků má svůj pohled na konkrétní situaci a jejich znalosti mohou být odlišné. Nelze očekávat, že by jejich váhy pro rozhodovací kritéria, které ovlivňují analýzu, byly stejné. Ve většině případů se ale pro řešení konkrétní situace využívají váhy kritérií od jediného odborníka, který své informace získává formou rozhovorů a průzkumu terénu.

Zdroje nejistot lze rozdělit do dvou kategorií.

1. Vědomostní nejistoty – nejistoty pramenící z nedostatku znalostí a informací, snížení těchto nejistot lze dosáhnout dodatečným monitorováním, přesnějším sběrem dat a prodloužením času modelování přírodních systémů
2. Stochastické nejistoty – vznikají ze sociální, ekonomické a kulturní dynamiky, nahodilostmi přírody a lidského chování, snižování nejistot v tomto případě je pro svou neurčitost v přírodních jevech obtížné (MOSADEGHI a kol. 2013)

V analýzách, které mohou silně ovlivňovat kvalitu životního prostředí nebo ekonomiku dané oblasti, jako je třeba umístění skládky, se musí zvážit všechny potřebné faktory a provést analýza nejistot. Každá přiřazená váha faktoru může mít zásadní vliv na výsledky rozhodnutí. Pomocí multikriteriálních rozhodovacích analýz je snaha o vytvoření co nejoptimálnějšího rozhodnutí za použití velkého množství údajů, hodnot a vnímání všech zúčastněných stran. Metodou Monte Carlo se zkoumá pravděpodobnost změny rozhodování tím, že se mění váhy a distribuce rozhodovacích faktorů, a zjišťuje, jak jejich změna ovlivňuje výsledky.

Zařazení Monte Carlo analýzy nejistot do 5 kroků podle Saltelliho (2000):

- výběr rozsahů a distribucí pro každou vstupní proměnnou,
- generování vzorku z rozsahu distribucí uvedených v prvním kroku, generování vzorků probíhá nejčastěji pomocí náhodného vzorkování,
- vyhodnocení modelu pro každý prvek vzorku – každý prvek se v tomto kroku použije jako vstup, čímž vznikne sled výsledků, které se používají v analýzách nejistoty a citlivosti,
- analýza nejistoty – zde se počítá střední hodnota a rozptyl výstupní proměnné,
- analýza citlivosti – hodnotí se, jak jednotlivé zdroje variability přispívají v systému, používají se regresní analýzy, korelační diagramy nebo korelační koeficienty.

Metody Monte Carlo se využívá při výpočtu nejistot a citlivostních analýz v rozhodovacích procesech, pro hodnocení důkladnosti výsledků a zjištění jak jednotlivé vstupy ovlivňují celkové výsledky (TAYYEBIA a kol. 2010, MOSADEGHI a kol. 2013).

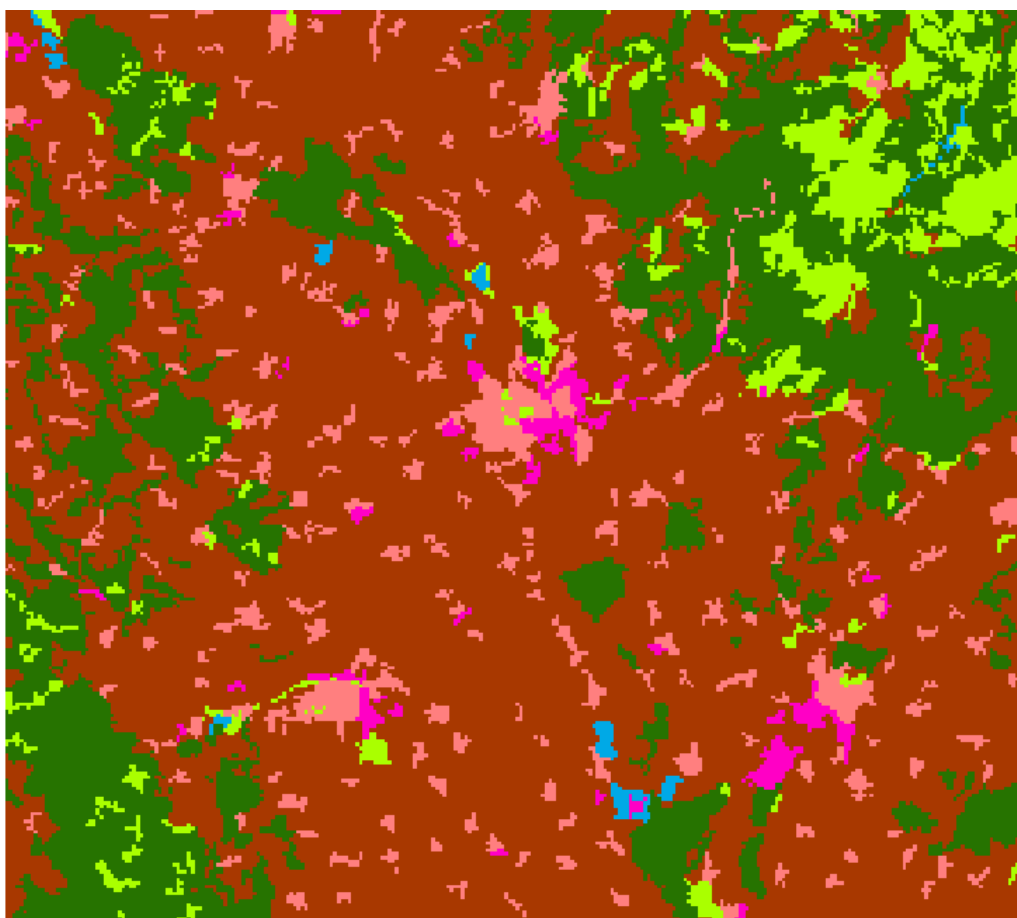
5 URČOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ POMOCÍ MONTE CARLO SIMULACE

V této praktické části se využilo MC náhodného vzorkování pro zjištění změn v krajině. Podobného principu využili ve své studii (MAEDA a kol., 2010). V jejich studii využili MC náhodného vzorkování pro odhad ploch zemědělských plodin. Jejich výzkum probíhal v Keni. To je velmi chudá oblast, kde jejich výnosy ze zemědělských plodin jako jediné zemi na světě stagnovaly za posledních 40 let. Proto se pro zlepšení jejich výnosů provedl výzkum, který měl situaci za co nejlevnějších prostředků vylepšit. Odhady zemědělských ploch pro jednotlivé plodiny se prováděly doposud pomocí alternativních způsobů, jako jsou rozhovory s farmáři. I když takové průzkumy mohou poskytovat docela přesné údaje, je takové zjišťování velmi neefektivní. Je to velmi časově náročné a navíc jsou údaje vystaveny velkým předpoklům. Plochy plodin lze zjišťovat také pomocí satelitních snímků. Ale i tento způsob s sebou nese mnoho problémů. Prvním z nich je ten, že k určení ze snímku o jakou plodinu se jedná, jsou zapotřebí snímky, které mají velmi vysoké rozlišení. Takové snímky jsou však velmi nákladné a pro monitorování zemědělských plodin málo často aktualizované. Což sebou nese další nevýhodu a to časové rozlišení, které je u monitorování tak dynamického odvětví jako je zemědělství velmi důležité. Ideálním řešením se proto stala simulace celého problému. Jako první se použil satelitní snímek daného území, ze kterého se určilo, jak velkou oblast zabírají zemědělské plochy. Tento údaj se pak použil ke tvorbě umělého pole zemědělských plodin. Každému bodu ve vytvořeném poli se přiřadila hodnota jednotlivé plodiny ve stejném poměru, jak bylo zjištěno pomocí alternativních výzkumů. Pomocí MC náhodné simulace se z tohoto pole vybíraly náhodně body a zjišťovala se RMSE chyba mezi vstupy do simulace a zvažovaným počtem náhodných bodů. Hledal se počet bodů, od kterého už se hodnota RMSE chyby příliš neměnila. Tento zjištěný počet bodů se následně navštívil a provedla se statistická analýza, ze které se odhadly plochy pro zemědělské plodiny.

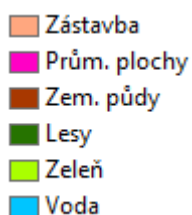
Při použití podobného principu ve zjišťování změn v krajině, je také potřeba vědět počet bodů, u kterých se zjistí jejich stav oproti jeho minulému stavu. Pro toto zjištění se může vytvořit určitý odhad změny či nezměny pro konkrétní klasifikovanou oblast z dostupných informací. Pravdivost předpokladu je možné si pomocí vzorkovacích bodů ověřit. Stanovit počet vzorkovacích bodů je vždycky obtížný úkol. V této práci pro tento případ vznikla samostatná aplikace. Předpoklady se vytvářejí v případech, kdy ještě nebyla zmapována aktuální podoba zájmové oblasti a o jejím vývoji panují pouze spekulace.

5.1 Příprava dat

V této ukázkové studii byla vybrána oblast kolem Olomouce. Zájmová oblast se získala ořezáním rastrových dat CORINE Land Cover 1990, 2000 a 2006 z databáze European Environment Agency. Prvním krokem byla tvorba masky v podobě shapefilu, 50 km x 50 km kolem Olomouce. Poté se podle této masky provedl ořez nástrojem *Extract by Mask* (Spatial analyst) pro všechny roky CORINE Land Cover. Jakmile byla vyznačena oblast pro dostupné roky, provedla se reklasifikace snímků nástrojem *Reclassify* (3D analyst) do 6 tříd podle přiloženého excelovského souboru, který byl ve složce spolu se staženými snímky. Snímek připravený pro analýzu vypadal následovně.



Obr. 2 Snímek z roku 1990 reklasifikovaný do 6 kategorií.



Obr. 3 Šest zvolených kategorií na snímku.

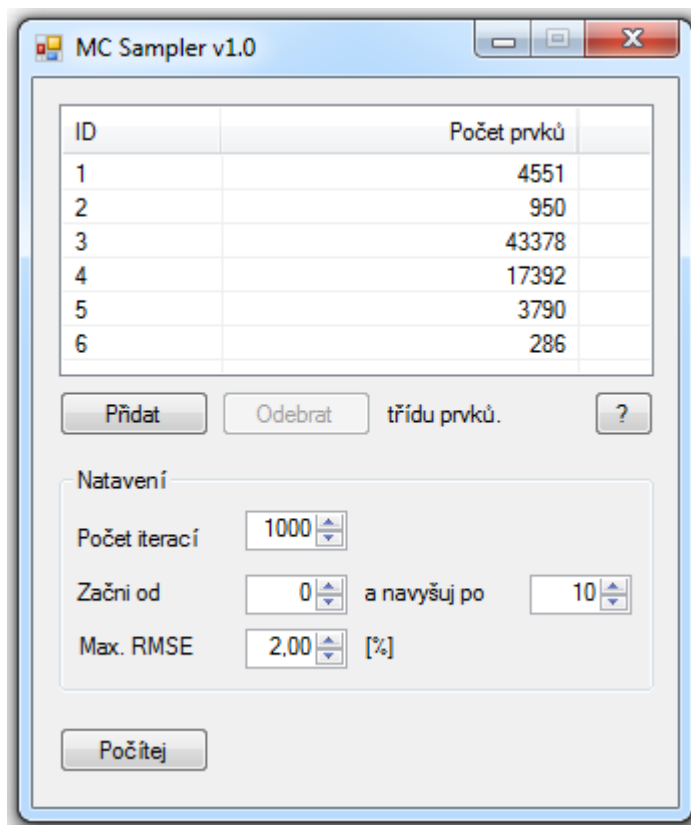
Z nejstaršího snímku, který je na obr. 2 se zjistilo, jakou plochu zabírá každá kategorie a tyto údaje se použily pomocí počtu pixelů pro každou kategorii jako vstupy do vytvořené aplikace MC Sampler. Pomocí aplikace se počítá optimální počet bodů, který by dostatečně přesně vystihoval zastoupení všech kategorií. Získaný počet bodů se poté náhodně vygeneroval pomocí nástroje *Create Random Points* (Data Management) do novějších snímků z roku 2000 a 2006 a zjišťovalo se, jestli náhodné body dokázaly vystihnout trendy v oblasti. Je jasné, že kdyby se navštívily všechny pixely z mapy v terénu, a u každého pixelu (v terénu bodu) se zjistilo, jestli se změnila kategorie, kterou zastupuje oproti staršímu porovnávanému období, dosáhlo by se naprosto přesných výsledků. Provést ale něco takového v praxi by bylo extrémně časově náročné a velmi neefektivní. Cílem této práce právě je, aby se použil ideální počet bodů, který by vystihl všechny změny v oblasti s tolerovatelnou hodnotou přesnosti.

5.2 Použití aplikace MC Sampler

Do programu se nejprve vloží počet pixelů pro každou kategorii. Tyto počty pixelů se vygenerují do jednodimenzionálního pole, které se pomocí .NET třídy *Random* zamíchá. Míchání se provede vždy na začátku výpočtu, nebo když se dojde ve výpočtu na konec pole prvků. Z pole prvků se vybírají po jednotlivých krocích náhodné body, z kterých se počítá chyba RMSE pro každou kategorii. Prvky se vybírají takovým způsobem, jakým se zvolí v uživatelském rozhraní navyšování. Když se zvolí navyšování po 10, znamená to, že se nejprve vybere prvních deset prvků z pole prvků, pak dalších deset, a dalších deset. Vybírat za sebou deset prvků se bude tolikrát, kolik se zvolilo počet iterací. Počet iterací se stanovuje z důvodu, aby se co nejvíce omezila náhoda. I když je pole před vybíráním promícháno, mohlo by se přihodit, že v prvních deseti prvcích, které by se vybraly, by byly například prvky dílem náhody jenom z jedné kategorie. V každé iteraci se počítá hodnota RMSE. Získané RMSE hodnoty ze všech iterací se poté pro počítaný počet prvků a kategorii zprůměrují. Nejvyšší zprůměrovaná RMSE hodnota kategorie se porovná s maximální tolerovanou hodnotou chyby RMSE zadanou na začátku výpočtu v uživatelském rozhraní. Když je jí tato hodnota chyby menší nebo rovna, výpočet končí, dosáhlo se optimálního počtu bodů. Pokud je větší, než maximální možná hodnota, výpočet pokračuje. Jestli bylo zvoleno navyšování po deseti, dále se budou počítat RMSE hodnoty z prvních dvaceti prvků, z dalších dvaceti prvků a tak dále, zase podle počtu iterací. Jestliže už existuje nějaká zkušenost s počtem

vybíraných prvků, naskytuje se možnost pro rychlejší dobu výpočtu několik počátečních počtů prvků pro výpočet přeskočit a začít třeba od sta prvků a navyšovat po deseti. Navyšování počtu prvků a samotný výpočet trvá do té doby, dokud se nedosáhne zprůměrované RMSE hodnoty prvků pod menší hodnotu než je maximální tolerovaná. Hodnotu maximální tolerované RMSE chyby lze zařadit jako nejzásadnější volitelný parametr. RMSE (root mean square error) střední kvadratická chyba, někdy také uváděna pod pojmem RMSD (root mean square deviation) střední kvadratická odchylka, představuje rozdíly mezi novými hodnotami modelu, v tomto případě náhodných bodů na snímku s kategoriemi, které reprezentují, a skutečnými hodnotami modelu, zde počty pixelů jednotlivých kategorií ze snímku. Pro každou zájmovou oblast může být kvůli rozmanitosti krajiny, tím pádem i jejich kategorií její optimální nebo dostatečná hodnota různá a je proto dobré si volbu její hodnoty dobře rozmyslet, a to s ohledem na časové a dostupné prostředky pro práci v terénu a také na účel výstupů zkoumání. Další možností je si hodnoty otestovat na starších dostupných mapách zájmové oblasti, tak je to provedeno v této práci.

Uživatelské prostředí aplikace by mohlo vypadat před spuštěním výpočtu následovně:

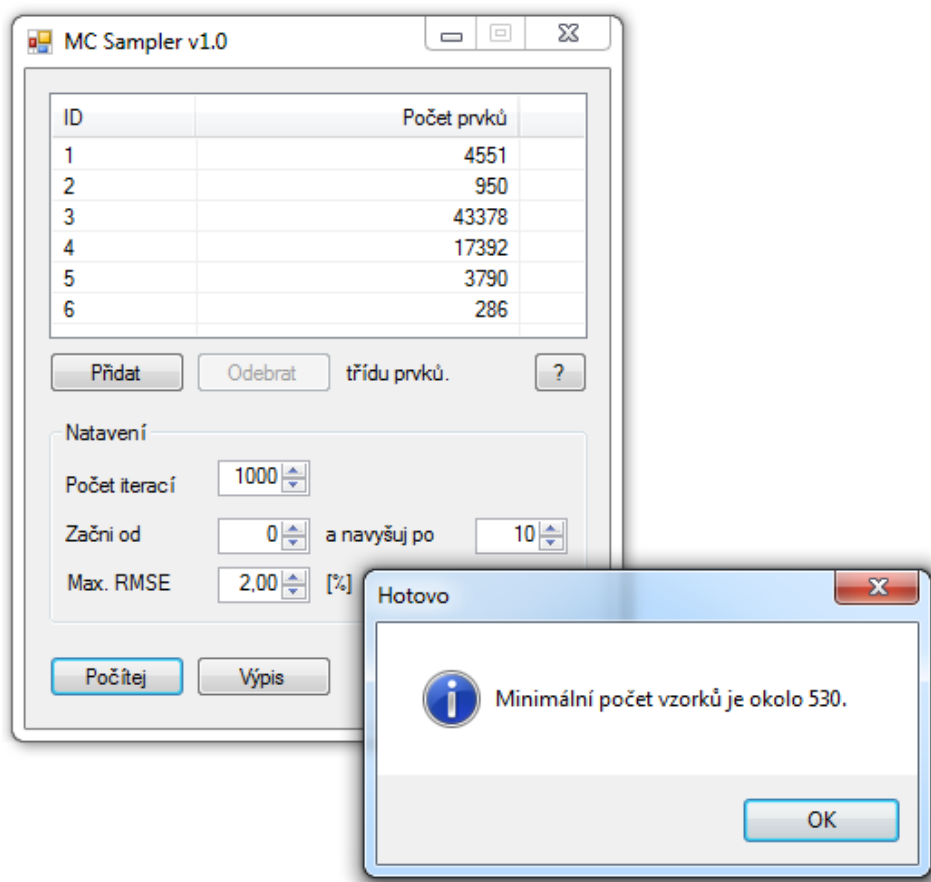


Obr. 4 Vstupy do aplikace.

Nejprve se zvolila hodnota maximální tolerovatelné RMSE 2%. Počet iterací se stanovil na 1000. Celé pole sice obsahuje 70 350 prvků, ale prvky v poli jsou před každým spuštěním výpočtu promíchány, což zajišťuje nahodilost výběru. Je tím tak dostatečně eliminován vliv náhody při výběru. V tomto případě se začíná počítat s deseti prvky. Parametry pro výpočet se nastavily tak, aby se začalo počítat od minimálního zvažovaného počtu bodů, což v uživatelském rozhraní aplikace způsobují volitelné hodnoty „Začni od“ a navyšování po 10 bodech podle „navyšuj po“. Platí pravidlo, že čím vyšší počet iterací, tím vyšší přesnost výpočtu, ale také delší čas pro výpočet. Určité doporučení je, že ve větších maticích prvků a větším počtu kategorií, může docházet k větším rozptylům mezi kombinacemi jednotlivých kategoriích ve zvažovaných počtech bodů pro výpočet, než maticích malých. Proto by měl být počet iterací u větších matic prvků větší než u menších matic.

5.3 Zpracování a hodnocení výsledků z aplikace

Po skončení výpočtu se v aplikaci zobrazil výsledek, který uvádí optimální počet bodů pro zadané vstupní parametry.



Obr. 5 Výsledek výpočtu aplikace.

Může se stát, že v několika různých výpočtech se stejnými parametry, bude výsledek výpočtu jiný. To má z největší části na starosti zvolená maximální RMSE. Jedná se o statistickou odchylku. Čím nižší se stanoví maximální RMSE, tím vyšší bude počet minimálních bodů. Je proto důležité její hodnotu určovat podle toho, k jakým účelům budou výsledky simulace použity. Výsledky výpočtu a mezivýpočtů je možné si prohlédnout ve výpisu. Tlačítko „Výpis“ se zobrazí v uživatelském rozhraní aplikace po úspěšném zakončení výpočtu.

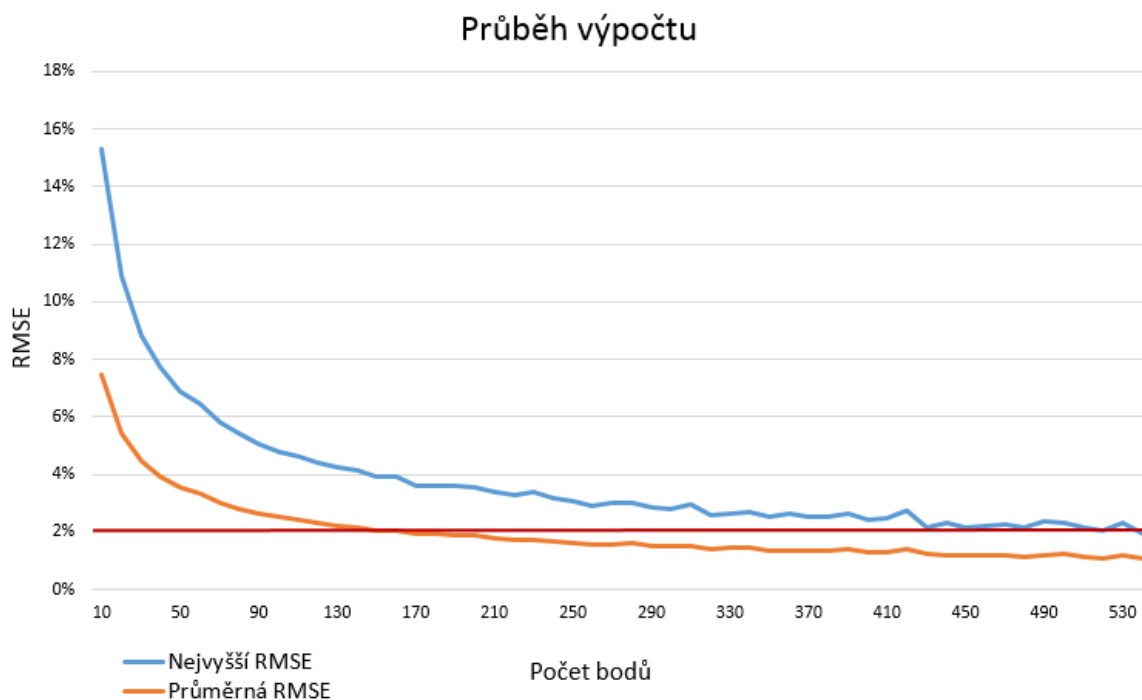
```

MC Sampler - Výpis
Max. tolerované RMSE: 0,02
Počet iteraci: 1000
Počáteční výběr: 0; navyšováno po: 10
-
Pro dané parametry je min. počet vzorků: 530
-
Mezivýpočty jako TSV (Tab-Separated Values):
Počet vzorků  RMSE  Prům. RMSE
10      0,1579  0,0765
20      0,1122  0,0559
30      0,0828  0,0425
40      0,0773  0,039
50      0,0708  0,0365
60      0,0605  0,033
70      0,0595  0,0302
80      0,0582  0,0298
90      0,0496  0,0268
...

```

Obr. 6 Výpis výsledků simulace.

Ve výpisu jsou zobrazeny vstupní parametry, z kterých se k výsledku dospělo. Jsou zobrazeny také mezivýpočty formou TSV (Tab-Separated Values), které je možné zkopírovat do tabulkového procesoru, např. Excel, a z mezivýpočtů vytvářet grafy, jak vypadal průběh výpočtu. U mezivýpočtů jsou uvedeny tři údaje. Počet vzorků, z kterého se v tu dobu počítalo, RMSE, což je nejvyšší počtem iterací zprůměrovaná RMSE ze všech kategorií, která se také porovnává s max. tolerovanou RMSE, a v posledním sloupci je průměrná RMSE. Průměrná RMSE jsou zprůměrované RMSE hodnoty všech kategorií pro určitý počet vzorků, je zobrazována pouze ve výpisu.



Obr. 7 Průběh výpočtu simulace MC Sampler.

Z grafu na obr. 7 je patrné, že k nejextrémnějším výkyvům docházelo v rozmezí od nula prvků přibližně k třem stům prvkům. Od tři sta prvků je vidět, že výkyvy už nebyly tak velké. Požadovanou hranici 2% RMSE se podařilo protnout u 530 prvků. To byla také hodnota, která se použila ke statistickým analýzám. Počet 530 bodů se náhodně vygeneroval do novějších snímků zájmového území z roku 2000 a 2006, a zjišťovalo se, jak přesně vystihnuly body změny v oblasti oproti nejstaršímu snímku z roku 1990. Bodům náhodně vygenerovaných do snímků, byly přiřazeny hodnoty kategorií, kterou zastupují svým umístěním na snímku, pomocí nástroje *Extract Values to Points* (Spatial Analyst). Získané hodnoty reprezentované body se poté porovnávaly se skutečnými hodnotami kategorií ze snímků a zjišťovala se úspěšnost vystihnutí vývoje krajiny za pozorované období pomocí bodů.

Tab. 1 Procentuální rozložení kategorií v oblasti pro jednotlivé snímky a náhodně vygenerovaných 530 bodů

[%]	Snímek 1990	Snímek 2000	Snímek 2006	Náhodné body 2000	Náhodné body 2006
Zástavba	6,47	6,52	6,62	6,79	6,98
Prům. plochy	1,35	1,53	1,58	1,89	1,89
Zem. půdy	61,66	62,5	59,01	63,02	61,32
Lesy	24,72	23,78	24,21	22,45	22,45
Zeleň	5,39	5,24	8,18	5,66	7,17
Voda	0,41	0,43	0,40	0,19	0,19

Z tabulky 1 je patrné, že v oblasti byl zaznamenán mírný nárůst kategorií Zástavba a Průmyslové plochy a to v obou novějších snímcích. Oba tyto trendy body v oblasti vystihly v porovnání s původním snímkem z roku 1990. Nárůst zemědělské půdy v roce 2000 a její úbytek v roce 2006 se podařilo vystihnout také. I úbytek lesů byl body vyjádřen u obou snímků. Naopak u zeleně byl v roce 2000 zaznamenán úbytek, ale body ukazovaly nárůst. Zde bylo vyjádření pomocí bodů chybné. Poměrně velký nárůst zeleně v roce 2006 už ale body vystihly. Voda pro své malé zastoupení v oblasti nemá pro statistické analýzy velkou vypovídající hodnotu, proto se ani výsledkům u této kategorie nevěnovala příliš velká pozornost.

Z těchto výsledků vyplývá, že pro dodržení dostatečné přesnosti výpočtů je 2 % hodnota RMSE hraniční hodnotou pro výsledky s uspokojivou přesností. Velikost tolerované chyby je potřeba dobře zvážit v závislosti na dostupných prostředcích, času pro terénní šetření, a charakteristice území.

Tab. 2 Procentuální rozložení kategorií v oblasti pro jednotlivé snímky a náhodně vygenerovaných 720 bodů

[%]	Snímek 1990	Snímek 2000	Snímek 2006	Náhodné body 2000	Náhodné body 2006
Zástavba	6,47	6,52	6,62	6,67	6,94
Prům. plochy	1,35	1,53	1,58	1,53	1,67
Zem. půdy	61,66	62,5	59,01	61,67	58,47
Lesy	24,72	23,78	24,21	24,43	25,14
Zeleň	5,39	5,24	8,18	5,28	7,50
Voda	0,41	0,43	0,40	0,42	0,28

Přestože nebylo hodnocení výsledků získaných z 530 náhodných bodů špatné, vyzkoušela se také hodnota maximální RMSE 1,5 %. Taková velikost chyby poskytla z aplikace MC Sampler, při jinak totožných parametrech s původní simulací, počet optimální bodů 720. Ze zkušeností z minulé simulace se začalo počítat od 200 bodů místo od 0. Zrychlil se tím celý výpočet. Tyto body byly také vygenerovány náhodně do novějších snímků a prováděla se stejná statistická analýza jako s 530 body. Výsledky z analýzy 720 bodů jsou vidět v tabulce 2. Výsledky jsou při použití 1,5 % RMSE daleko přesnější a vystihují reálné změny ve všech pozorovaných případech. Což možná není nic překvapivého. Toto vyzkoušení vstupních parametrů z aplikace MC Sampler poskytlo odpověď na otázku, kolik bodů je nutné v zájmové oblasti navštívit a tím pádem zjistit nebo ověřit předpoklad, jestli došlo za sledované období k určitým změnám či nezměnám ve vývoji krajiny.

V tomto případě stačí v zájmové oblasti navštívit v terénu 720 bodů, protože se simulací ověřilo, že tento počet bodů podle 1,5 % RMSE vystihl všechny změny v minulém vývoji podle dostupných dat. Zde se použily letecké snímky. Lze proto tento počet bodů náhodně vygenerovat do oblasti a zjistit tak vývoj v krajině k nejaktuálnějšímu datu.

Pro terénní šetření v zájmové oblasti lze využít přístrojů pro Globální polohovací systémy. Náhodné body se vygenerují do starší dostupné mapy zájmového území a vygenerované body se navštíví podle jejich souřadnic, přesně na místo, kam byly vygenerovány, podle navigačních přístrojů. V terénu se poté zjišťuje, jakou kategorii body zastupují, a získané údaje se zapisují a posléze hodnotí.

6 VÝSLEDKY

Výsledkem bakalářské práce je obecný popis metody Monte Carlo od počátku jejího vzniku až do současnosti, v které se její používání tak rozmohlo. Nalezly se a zhodnotily příklady využití Monte Carlo simulací ve vývoji krajiny. V jednotlivých příkladech byl při hodnocení kladen důraz na konkrétní použití a roli metody MC v řešení dané problematiky. V důsledku této práce se objevila a zhodnotila řada dostupných nástrojů pro práci s touto metodou. Vytvořil se také nový způsob jak ověřovat změny v krajině pomocí náhodně vygenerovaných bodů do oblasti.

Metoda MC se ve vývoji krajiny používá v největší míře formou Markovových řetězců. Ty jsou obsaženy v algoritmech jednotlivých nástrojů pro hodnocení a simulaci vývoje. Nejzajímavější a dostupné nástroje se okomentovaly a zhodnotily. Z hodnocení vyšel nejlépe Land Change Modeler. Jedná se o dobře dostupný nástroj, který dokáže provádět nejrůznější analýzy mezi mapami s velmi dobrými a přehlednými výstupy. Další dobře hodnocený software skončil GoldSim. GoldSim je také nejkompaktnějším nástrojem, který poskytuje analýzy nejenom z dynamiky vývoje krajiny, ale jeho plná verze je poměrně drahá. Pro nejzákladnější analýzy Markovovými řetězci dostatečně poslouží volně dostupný SemGrid. Velmi zajímavě se jevil také LanduseSim, který by měl být ideální pro práci s velkými objemy dat. Přes intenzivní snahu se přes jejich support dostat k trial licenci nepovedlo. Nejhůře vyšel z hodnocení Vegetation Dynamics Development Tool, který pracuje se zastaralými algoritmy při výpočtech, a dále se nevyvíjí. Navíc jsou jeho funkce dostupné v novějším S-T Sim. Ten nabízí funkce i dalších starších simulačních nástrojů a mnoho jiných nových. Na stránkách výrobce ApexRMX je poskytován zdarma, ale přes veškerou snahu, jeho stažení umožněno nebylo. Využití MC simulací se ale také objevilo v dalších, většinou ne tak výpočetně náročných, případech. Jsou to případy povodní, sesuvů půd, požárů, rozhodovací a nejistotní analýzy a vzorkování. Právě na principu vzorkování byla postavena ukázková studie a byla naprogramována nově vzniklá samostatná aplikace MC Sampler.

V případě použití MC simulace u procesu vzorkování se této simulace využívá k zjištění optimálního počtu vzorků nebo výběru z pravděpodobnostního rozdělení četností parametrů v situačních modelech. Modely se zpravidla mnohokrát opakují a při každém opakování se podle zvolené metodiky mění nebo vybírají vstupy. Výsledky se pro každé opakování zaznamenávají. Ze všech výsledků opakování se nejčastěji vytvoří průměr a ten je považován za výsledek modelu. Zkoumá se také, jak jednotlivé vstupy

ovlivňují výsledek celého modelu. Určování počtu reprezentativních vzorků pro terénní ale i jiná šetření je vždy obtížný úkol. Pro rozřešení tohoto problému vznikl již zmiňovaný simulační program MC Sampler, Tento program odhaduje minimální velikost výběru za zachování stejného rozdělení četností. V uváděném případě v této práci se použily jako vstupy do aplikace počty pixelů kategorií ze zájmového území. Ze vstupů a zadaných parametrů se hledal minimální počet bodů, který vystihne stejné rozdělení kategorií.

Získané údaje se ověřovaly na ořezaných rastrových snímcích kolem Olomouce. Použily se snímky z roku 1990, 2000 a 2006. Oblast byla podle vlastního uvážení reklasifikována do šesti kategorií. Z prvního nejstaršího snímku se zjistila četnost pixelů pro každou kategorii a tyto údaje se použily jako vstupy do simulačního programu. Pro výpočet bylo potřeba zadat tolerovatelnou hodnotu RMSE pro výsledný počet vzorkovacích bodů. Jako první se testovala RMSE 2 %. Pomocí takové velikosti RMSE se dospělo k 530 bodům, které mají být náhodně vygenerovány do oblasti. Tento počet bodů byl náhodně vygenerován do obou novějších snímků. Údaj o velikosti chyby byl inspirován studií podle MAEDA a kol. 2010, kde ve svém zkoumání použili podobného principu na přibližně stejně velkém území.

Hodnota RMSE 2 % dospěla k poměrně dobrým výsledkům. Při porovnání údajů dosažených z náhodných vzorkovacích bodů se skutečnými hodnotami na snímcích z roku 2000 a 2006 se rozložení kategorií příliš nelišilo až na pár výjimek. Dalo se tedy tvrdit, že vzorkovacími body se vystihly téměř všechny trendy ve vývoji krajiny. Pro maximální eliminování pochybností z výsledků se stejným způsobem vyzkoušela RMSE 1,5 %. Tato hodnota s použitím 720 bodů vystihla změny v oblasti velmi dobře. Tímto simulováním situace se ověřila dostatečná hodnota RMSE. Je tedy možné použít stejný počet bodů a náhodně body vygenerovat do zkoumané oblasti, a zjistit nebo ověřit svůj předpoklad o vývoji krajiny v dané oblasti. Optimální počet, ověřený simulací, má napomoci ke snižování nákladů pro práci v terénu a také ke snižování potřebného času pro výzkum, aniž by byla ohrožena přesnost výsledků.

Posledním krokem v bakalářské práci bylo vytvoření validní webové stránky, ve které se popsaly jednotlivé metody, cíle práce a výsledky spolu s možností stažení vytvořeného programu MC Sampler.

7 DISKUZE

V průběhu řešení bakalářské práce se po sepsání obecné rešerše o metodě Monte Carlo objevilo při hledání možností jejího využití v oblasti vývoje krajiny několik zajímavých nástrojů, které by bylo škoda v souvislosti s metodou MC nezhodnotit. To s sebou přineslo první problémy. Ne všechny nalezené nástroje se i přes nabízené trial verze povedlo zprovoznit. Ve skutečnosti se jednalo o dva ze šesti nástrojů. Konkrétně ST-Sim a LanduseSim. Tyto dva nástroje se proto hodnotily z dostupných informací a tutoriálů.

Druhý problém, který se řešil hned na začátku praktické části, byl výběr vhodných dat k vyzkoušení daného postupu zkoumání a ověření parametrových vstupů vkládaných do aplikace MC Sampler. Bylo potřeba získat data, ze kterých je možné určit kategorii pro každý pixel na snímku. Většina snímků ať leteckých nebo satelitních tuto vlastnost neměla. Problém s daty se vyřešil díky volně dostupné databázi z European Environment Agency, odkud byly staženy datasety pro celou Evropu pro roky 1990, 2000 a 2006. V datasetech byly k dispozici i legendy pro všechny kategorie na snímku. Uváděné rozlišení 100 m pro každý pixel u nejstaršího snímku z roku 1990 neodpovídalo tomuto údaji při porovnáním s novějšími snímky.

Dalším problémem byla samotná tvorba programu MC Sampler. K uspokojivým výsledkům bylo zapotřebí skloubit dohromady několik cyklů a k jejich doladění bylo potřeba celý kód přepisovat několikrát celý od znova. Aplikace je naprogramovaná jako samostatný volně stažitelný program. Její samostatnost byla považována za výhodu.

Po vytvoření programu bylo nutné zjistit, jak velká hodnota RMSE je k analýze této konkrétní oblasti dostatečná. Nejdříve se vyzkoušela hodnota 2 %, která poskytovala po provedení analýzy slušné výsledky. Následným testováním se zjistilo, že pro zkoumání změn vývoje krajiny je pro zájmovou oblast ideální hodnota chyby kolem 1,5 %. RMSE 1,5 % totiž poskytla výsledky, které vystihly trendy v oblasti velmi dobře. Velikost tolerované chyby ale závisí na velikosti a charakteru území. Důležitý je také účel, za jakým se analýza provádí. Čím větší informační hodnota se bude výsledkům přiřkládat, tím nižší by měla být hodnota RMSE. Zvýšení přesnosti výsledků by se dalo dosáhnout rozdělením oblasti do většího počtu kategorií, pokud se jedná o příliš homogenní oblast, nebo pomocí stratifikace území, kde by se náhodně generovaly body např. k okrajům kategorií, nebo do míst, kde se předpokládá určitá změna ve vývoji.

Tento postup zjišťování změn v krajině přináší způsob, jak relativně rychle a levně ověřit odhad nebo předpokládaný vývoj o změně krajiny, za použití Monte Carlo statistické simulace. Využití tohoto přístupu by se mohlo v případě, kdy nejsou k dispozici nejaktuálnější snímky pro zkoumanou oblast nebo jiný informační zdroj poskytující uspokojivé odpovědi. Získané výsledky mohou pomoci k rozvoji plánování a hodnocení navrhovaných rozhodnutí. Pokud ale jsou k dispozici dostatečně aktuální data spolu s potřebným nástrojem pro výpočet nebo odhad změn, např. některý z hodnocených nástrojů v kapitole 4.1, budou tyto nástroje určené přímo k tomuto účelu poskytovat přesnější výsledky.

8 ZÁVĚR

Bakalářská práce měla nalézt a zhodnotit využití Monte Carlo simulace ve vývoji krajiny. K tomuto cíli byla prostudována potřebná literatura, které vedla k pochopení základů této metody a nalezení jejího vhodného využití v oblasti hodnocení a simulací změn v krajině. Využití se hledala pomocí volně dostupných publikací, ve kterých byla MC simulace použita k řešení dané problematiky. U studií, které měly co do činění s vývojem krajiny, se zjišťoval způsob, jakým se využívalo principu MC simulace v postupu práce pro dosažení výsledků.

Tato práce poskytla také náhled na několik nástrojů, které byly vyvinuty pro zjišťování dynamiky změn krajiny a odhad jejího vývoje do budoucnosti. Takové nástroje jsou většinou úzce propojeny s GIS, jelikož zpracovávají a analyzují prostorová data, a proto byl na ně kladen důraz.

Největším přínosem této práce je nový postup pro zjišťování a hodnocení změn ve vývoji krajiny. Tento postup je založen na použití počtu náhodně vygenerovaných bodů do zájmové oblasti a jejich následném statistickém hodnocení. Počet bodů, který se má do oblasti náhodně vygenerovat, byl získán z nově vytvořeného simulačního programu MC Sampler. Statistické hodnocení se provádí na základě porovnání hodnot kategorií získaných pomocí bodů a skutečných hodnot kategorií.

Bakalářská práce ukázala případy, ve kterých se uplatňuje Monte Carlo simulací ve vývoji krajiny, zhodnotila nástroje pro práci s ní a poskytla volně dostupnou aplikaci MC Sampler k výpočtu optimálního počtu vzorků pro statistické analýzy.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

Tištěné zdroje:

FABIAN a KLUIBER. *Metoda Monte Carlo a možnosti jejího uplatnění*. Praha: Prospektrum, 1998. ISBN 80-7175-058-1.

HAVLÍK, Aleš. *Metodika mapování povodňových rizik s pomocí geografických informačních systémů*. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2004. ISBN 8001029107, 9788001029107.

KLVAŇA, Jaroslav. *Principy a aplikace metody Monte Carlo = Principles and applications of Monte Carlo method*. Praha: České vysoké učení technické, 2006. ISBN 20070628.

LEE, S., J. H RYU a WON. *Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network*. Tokio: 71, 2004. ISBN 289-302.

MANNO, I. *Introduction to the Monte-Carlo method*. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1999. ISBN 963-05-7615-5.

NOVOTNÁ, Dagmar. *Úvod do pojmosloví v ekologii krajiny*. Praha: [Praha] Ministerstvo životního prostředí Enigma, 2011. ISBN 80-7212-192-8.

PARZEN, Emanuel. *Stochastic processes*. San Francisco: Holden-Day, 1962. ISBN 0816266646, 9780816266647.

ROBERT, C. P. a G. CASELLA. *Monte Carlo statistical methods*. New York: Springer, 2002. ISBN 0-387-98707-X.

VIRIUS, M. *Aplikace matematické statistiky: metoda Monte Carlo*. 3. vyd. Praha: ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01779-6.

VIRIUS, M. *Metoda Monte Carlo*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04595-4.

Elektronické zdroje:

AUA, Siu Kui, Zhi-Hua WANGB a Siu-Ming LOA. Compartment fire risk analysis by advanced Monte Carlo simulation. *Engineering Structures* [online]. 2007, č. 29 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029606004950>

BAKER, William L. A review of models of landscape change. *Landscape Ecology vol. 2* [online]. 1989, č. 2 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.3.3478&rep=rep1&type=pdf>

BURROUGH, P. A. a R. A. MCDONNELL. Principles of Geographical Information Systems. In: <Http://dds.cepal.org/> [online]. OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1998 [cit. 2014-08-13]. Dostupné z: [http://dds.cepal.org/infancia/guide-to-estimating-child-poverty/bibliografia/capitulo-IV/Burrough%20Peter%20A%20y%20McDonnell%20Rachael%20A%20\(1998\)%20Principles%20of%20geographical%20information%20systems.pdf](http://dds.cepal.org/infancia/guide-to-estimating-child-poverty/bibliografia/capitulo-IV/Burrough%20Peter%20A%20y%20McDonnell%20Rachael%20A%20(1998)%20Principles%20of%20geographical%20information%20systems.pdf)

CARMEL, Yohay, Paz b SHLOMIT, Faris JAHASHANA a Maxim SHOSHANYA. Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. *Forest Ecology and Management* [online]. 2009, č. 257 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://envgis.technion.ac.il/publications/Assessing%20fire%20risk%20using%20Monte%20Carlo%20simulations%20of%20fire%20spread.pdf>

ČERNOHOUZ, Ondřej. *Analýza změny využití krajiny v katastru Růžová* [online]. Ústí nad Labem, 2011 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://projekty.fzp.ujep.cz/transeconet/documents/Ruzova_DP_Cernohouz.pdf. Diplomová práce. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Vedoucí práce Ing. Jitka ELZNICOVÁ, Ph.D.

DANIEL, Colin J. a Leonardo FRID. Predicting Landscape Vegetation Dynamics Using State-and-Transition Simulation Models. *Proceedings of the First Landscape State-and-Transition Simulation Modeling Conference* [online]. 2011, č. 1 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr869/pnw_gtr869_002.pdf

DÖMEOVÁ, Ludmila. Stochastické modely I. In: *Stochastické modely I. - Úvod skripta* [online]. 2010. vyd. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://pef.czu.cz/~domeova/EMMISYI/prednasky/p6_soubory/frame.htm

GUSTAFSON, Eric J. a George R. PARKER. Using an index of habitat patch proximity for landscape design. In: *Http://www.treesearch.fs.fed.us/* [online]. 1994 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/13350>

KITAMBARA, Muhoji James. A Comparison of Simple Random Sampling and Stratified Random Sampling. *A Comparison of Simple Random Sampling and Stratified Random Sampling* [online]. 2009, č. 1 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.statssa.gov.za/yces/SpeakerPresentations/Acropolis2/Day3/Session%20VIIIIB_Dr.%20Nazeem%20Mustapha/Kitambara.pdf

KUKEMILKS, Kārlis a Tomas SAKS. Landslides and gully slope erosion on the banks of the Gauja River between the towns of Sigulda and Līgatne. *Landslides and gully slope erosion on the banks of the Gauja River between the towns of Sigulda and Līgatne* [online]. 2013, č. 1 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.kirj.ee/public/Estonian_Journal_of_Earth_Sciences/2013/issue_4/earth-2013-4-231-243.pdf

LANDAU, D. P. A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics. *A guide to Monte Carlo simulations in statistical physics* [online]. 2000, č. 1 [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://site.ebrary.com/lib/natl/Doc?id=2000919>

MADURAPPERUMA, Buddhika Dilhan. *Detecting Land-Cover Change using Stochastic Simulation Models and Multivariate Analysis of Multi-Temporal Landsat Data for Cass County, North Dakota* [online]. United States, North Dakota, 2013 [cit. 2014-05-17]. ISBN 9781303277801. Dostupné z: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/enrr/article/view/28435/18006>. Disertační práce. North Dakota State University.

MAEDA, Eduardo Eiji. Monte Carlo simulation and remote sensing applied to agricultural survey sampling strategy in Taita Hills, Kenya. In: *Http://www.helsinki.fi/* [online]. Helsinki, Finland, 2010 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.helsinki.fi/geo/research/publications/Taita_Hills_publications/Peer_reviewed_articles/Maeda_E_et_al_2010_Monte%20Carlo%20simulation%20and%20remote%20ensing%20applied%20to%20agricultural%20survey.pdf

MBOW, Cheikh, Kalifa GOÏTA a Goze B BÉNIÉ. Spectral indices and fire behavior simulation for fire risk assessment in savanna ecosystems. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2004, č. 91 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703002827>

METROPOLIS, N. The beginning of the Monte Carlo method. In: JACKMAN, Simon. [Http://jackman.stanford.edu/](http://jackman.stanford.edu/) [online]. 1987 [cit. 2014-08-13]. Dostupné z: <http://jackman.stanford.edu/mcmc/metropolis1.pdf>

METROPOLIS, N. a S. ULAM. The Monte Carlo Method. <Http://www.amstat.org/> [online]. 1949, č. 247 [cit. 2014-08-13]. Dostupné z: <http://www.amstat.org/misc/TheMonteCarloMethod.pdf>

MOSADEGHI, Razieh, Jan WARNKEN, Hamid MIRFENDERESK a Rodger TOMLINSON. Spatial uncertainty analysis in coastal land use planning. *Spatial uncertainty analysis in coastal land use planning: a case study at Gold Coast, Australia* [online]. 2013, č. 65 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://ics2013.org/papers/Paper3954_rev.pdf

QI, Honghai a Mustafa S. ALTINAKAR. RISK AND UNCERTAINTY ANALYSIS IN FLOOD HAZARD MANAGEMENT USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNOLOGY. *RISK AND UNCERTAINTY ANALYSIS IN FLOOD HAZARD MANAGEMENT USING GIS AND REMOTE SENSING TECHNOLOGY* [online]. 2005, č. 1 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.ncche.olemiss.edu/~hhqi/AWRA-Paper01.pdf>

RAMANKUTT, Navin a Jonathan A. FOLEY. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles* [online]. 1999, č. 4 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999GB900046/pdf>

TAYYEBIA, A. H., M. R. DELAVARA, A. TAYYEBIA a M. GOLOBI. COMBINING MULTI CRITERIA DECISION MAKING AND DEMPSTER SHAFER THEORY FOR LANDFILL SITE SELECTION. *Remote Sensing and Spatial Information Science* [online]. 2010, č. 38 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.tric.u-tokai.ac.jp/isprsc8/tc8/tc8_cd/headline/%EF%BC%B4%EF%BC%B3-4/IC04_20100314154555.pdf

VITOUSEK, Peter M. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Human Domination of Earth's Ecosystems* [online]. 1997, č. 277 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.mysterium.com/domination.html>

WENG, Qihao. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management* [online]. 2001, č. 64 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://isu.indstate.edu/qweng/Jema02weng.pdf>

XIE, Mowen, Tetsuro ESAKI, Guoyun ZHOU a Yasuhiro MITANI. Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment. *Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment* [online]. 2003, č. 12 [cit. 2014-05-17]. DOI: 10.1061. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.201.1968&rep=rep1&type=pdf>

ZHOU, G. Zhou a T. Esaki ESAKI. Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Engineering Geology* [online]. 2002, č. 68 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://gis.ustb.edu.cn/tpapers/%E8%AE%BA%E6%96%8712.pdf>

SUMMARY

The aim of this Bachelor thesis was searching for possible usages of Monte Carlo simulations in landscape development. The thesis focuses on cases where GIS was involved. Tools in this kind of studies was reviewed.

First, the basics of Monte Carlo simulation was described and the first ever case of MC method was mentioned. It was Buffon's needle problem. Then other cases were added where MC simulations and models were used. The cases were separately judged with emphasis on MC method. It was cases like dynamics of landscape change, sampling, floods, landslides, fires and uncertainty analysis. Cool tools like Land Change Modeler, LanduseSim, SemGrid, GoldSim, Vegetation Dynamics Development tool and ST-Sim were commented.

Then came into being a main part of this thesis. It was a new developed way to analyse changes in landscape development by using randomly generated points into area of interest. For this way of analysing was created a new application called MC Sampler. Inspiration for creating this application was a case study by MAEDA and collective team, 2010. They were using a random sampling scheme for estimating crops area.

This approach was tested in selected area around Olomouc city. For this area was used three satelites pictures from years 1990, 2000 and 2006. The satelite pictures was downloaded from freely available database of European Environment Agency. The inputs into application was a number of pixels for each category from the oldest satelite picture in selected area. Then the value of RMSE needed to be entered. First 2 % RMSE was tested by applying it into two later satelites pictures of a same area. Another two parametres needed to be entered into MC Sampler. It was a number of iterations for each estimated number of points and option of how many points should be increased after the number of iterations of estimated sampling points. The more iterations is done the more acurately results can be recieved because of elimination of luck in calculation. Every of this optional parametres is chozen according to size of the area and its heterogenity.

The chozen 2 % RMSE along with 530 random points had a quite good results. The 530 points was randomly generated into satelite pictures of 2000 and 2006. These points well represented most trends in landscape during the past years but there were found cases where the trend according to points was not good enough. Thats why 1,5 %

RMSE was used for the analysis. The 1,5 % RMSE was tested the same way and the trends in every category were well represented. By this testing the landscape development can be checked using 1,5% RMSE bringing 720 sampling points.

The implementation of this approach brings quick, relatively cheap and statistically proven way to verify assumption of landscape development when there are no up to date satellites or aerial pictures.

The validated web page was separately created for this Bachelor thesis.

PŘÍLOHY

Popis struktury CD

Adresáře:

Aplikace

Metadata

Text_práce

Vstupní_data

Výstupní_data

