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 12. května 2014 _____ _____

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Pavlu TUČKOVI, 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 12
3.3 Aplikace 14
3.3.1 Výpočet π 15
3.3.2 Další aplikace metody 16
3.4 Přesnost metody 16
3.5 Vhodnost metody v jednotlivých informačních systémech 17
4 VYUŽITÍ METODY MONTE CARLO VE VÝVOJI KRAJINY **19**
4.1 Změna krajiny 19
4.2 Vzorkování 24
4.3 Povodně 25
4.4 Sesuvy půd 27
4.4.1 Statistická metodika 29
4.4.2 Geotechnická modelově založená metodika 30
4.5 Požáry 31
4.6 Rozhodování a nejistoty 31
5 URČOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ POMOCÍ MONTE CARLO SIMULACE **33**
6 VÝSLEDKY **38**
7 DISKUZE **40**
8 ZÁVĚR **41**
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE
SUMMARY
PŘÍLOHY

ÚVOD

Současná doba je téměř denně naplněna novými objevy v oblasti informatiky. Tyto objevy se pak následně používají ve všech oblastech lidského života a ve většině případů se dá říci, že přináší lidem užitek. K tomu všemu se využívají nejrůznější statistické metody. Některé z metod jsou velmi nové a proti nim stojí naopak metody, které jsou vyvíjeny již téměř stovky let. Z hlediska krajinných řešení jsou tyto metody často implementovány do geografických informačních systémů (běžně uváděných pod zkratkou GIS). GIS fungují jako organizovaný soubor dat, která dokážou znázornit všechny příslušné druhy potřebných geografických informací.

Jednou z metod, kterou lze využít v GIS je metoda Monte Carlo, která využívá modelování náhodných veličin. Jedná se o typickou statistickou stochastickou metodu. 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.

Tato práce se bude zaobírat právě zmiňovanou metodou Monte Carlo s důrazem na její použití v geoinformatice. Nejprve bude 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.

Student provede rešerši 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 student zhodnotí implementaci simulací a nástrojů s nimi souvisejícími v GIS. Dále v některém z dostupných softwarů provede ukázkovou studii využití simulace Monte Carlo pro vývoj krajiny.

Student vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořil nebo získal v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně zálohu 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 student vytvoří webovou stránku 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 připojí student k 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 považované přesnosti.

2.1 Použitá data

Pro práci s metodou MC v oblasti přírodních jevů se využívají data rastrového formátu. V této práci se využily volně dostupné databáze Evropské agentury životního prostředí (European Environment Agency). Z databáze byla snažena 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 ověřovala funkčnost vytvořeného programu MCSampling. Program se psal v c# na platforme .net (4) v IDE Visual Studio 2010.

Z nástrojů a programů, které se podařilo nainstalovat nebo získat licenci se jednalo o volně dostupný SemGrid a třicetidenní testovací licenci pro GoldSim. Využilo se také balíku společnosti Microsoft, konkrétně se jednalo o Excel.

2.3 Postup zpracování

Po nastudování potřebné literatury začal popis samotné metody Monte Carlo a snaha o vystihnutí 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 tohoto principu využili ve svých šetřeních. Z těchto studií se zjistilo, že ve svých pracích používali 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. Mnoho těchto nástrojů slouží převážně k modelování

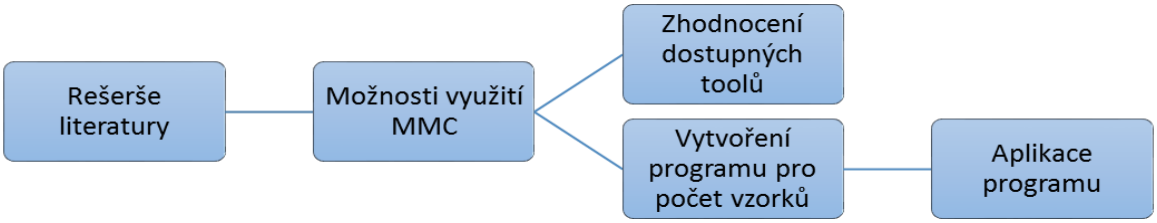
změn a hodnocení dynamiky změn v krajinném pokryvu a ve využívání půdy. MC metoda je v nich obsažena ve své nejvyšší podobě formou Markových řetězců v algoritmech výpočtů. Markovy řetězce počítají pravděpodobnosti přechodu mezi jednotlivými stavy v systému, kde výsledek pokusu závisí na výsledku předchozího 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 (DÖMEOVÁ, 2010).

Při výpočtech se vychází z náhodného nebo pevného stavu systému. Následně se sestavuje matice přechodu Markovského řetězce.

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.

Vytvořila se aplikace nazvaná MCSampling. V této práci se ověřovala funkčnost a využitelnost této aplikace pro tato ověřování 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 přibližné rozloze 50km x 50km. Dále byla nutná reklasifikace zájmového území podle přiloženého excelovského dokumentu, kde byly všechny kategorie klasifikovány. Stejná operace proběhla pro všechny zpracovávané snímky. Z nejstaršího snímku se zjistilo, jak velkou část zabírá jednotlivá kategorie, a tyto údaje se pak vložily do vytvořeného simulačního programu MCSampling. Program počítá, kolik bodů vystihuje rozložení jednotlivých kategorií za tolerovatelné hodnoty RMSE. K výsledku se dopočítá tak, že počítá chybu RMSE pro různý počet vzorkovacích bodů. Do programu se nejprve vloží počet pixelů pro každou kategorii. Tyto počty pixelů vygeneruje do jednodimenzionální matice, kterou pomocí funkce randomize zamíchá. Z této matice pak vybírá po jednotlivých krocích náhodné body, z kterých počítá chybu RMSE. A počítá do té doby, dokud na požadovanou hodnotu RMSE nedosáhne. Počet bodů, z kterých RMSE počítá, se zvyšuje o zvolený počet, který se určil. Zde se použilo navyšování o 10 bodů. Výpočet tedy začne vybráním 10 bodů z matice. Body se mohou vybírat od začátku matice, protože hodnoty v ní byly pomocí funkce randomize náhodně promíchány. Aby se zamezilo náhodě při výpočtu, velikost chyby RMSE se pro každý počet zvažovaných bodů počítá několikrát. Počet opakování je také volitelný na začátku výpočtu v aplikaci. V této práci se počítalo s tisícem opakování. To znamená, že hodnota RMSE pro každý zvažovaný počet

vzorkovacích bodů, se počítala tisíc krát. Jednotlivé hodnoty vstupních parametrů se testovaly v ukázkové studii. Nejzásadnějším parametrem, který ovlivňuje výsledky analýzy je volba RMSE hodnoty. Pro každou zájmovou oblast může být kvůli rozmanitosti krajiny její hodnota různá.



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. Rozsah geoinformatiky je velmi rozsáhlý. Zabývá se metodami sběru, klasifikací, analýzou, strukturou prostorové informace, rozšiřováním dat, infrastrukturou pro optimální využití prostorové informace. 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 francouzské původu Georges Louis Lecererc de Bufon. 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 34080 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 Monte Carlu 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 se považují 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. Termín Monte Carlo byl poprvé použit v roce 1949 v publikaci od autorů Metropolis a Ulam (VIRIUS 2010, s. 233). Jejich hlavní zkoumání se týkalo dříve objevených neutronů. Nejvíce byla metoda 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 sestrojení 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 Monte Carlo 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 (KLVAŇA 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 ukázku 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 nepřináší 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. Ve dnešní praxi se tyto pokusy realizují pomocí počítačů. Již nejsou prováděny klasické experimenty, které byly mnohem více náročné (KLVAŇA 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: spojité 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 výčtem 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.

$$\Pi = 4\,(S1/S2) \qquad (1)$$

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).

3.5 Vhodnost metody v jednotlivých IS

Následující přehled uvede jednotlivé typy informačních systémů a využití metody Monte Carlo v nich.

Transakční systém (TPS- Transaction Process Systems)

Hlavní úkolem tohoto systému je sběr, aktualizace, modifikace a ukládání jednotlivých zpráv a informací. V tomto systému je aplikace metody Monte Carlo minimální, nelze zde využít pravděpodobnosti. Vše je stanoveno na přesných vlastnostech a vztazích.

Zákaznické systémy (CRM- Customer Relationship Managment)

Pro zákazníka jsou potřebná správná a konzistentní data, která jsou zároveň přístupná v celé IT infrastruktuře. Tyto systémy se používají v organizacích různých velikostí. Nejčastěji je to v oblasti prodeje, marketingu a servisu. Cílem je spokojený zákazník. Opět přínos metody Monte Carlo je minimální.

Konstrukční systémy (CAD/M- Computer-Aided Design/Manufacturing)

CAD systémy jsou určeny pro práci hlavně projektantů, kde umožňují tvorbu výkresové dokumentace v zobrazení 2D i 3D. Opět využití metody je minimální. Důvodem jsou přesně stanovené vlastnosti a vztahy u konstrukčních problémů.

Expertní systémy (KWS- Knowledge Working System)

Systém je založen na prezentaci poznatků expertů. Využíván je hlavně technickými obory. Metoda se v těchto systémech využívá. Díky základní bázi dat lze tvořit dílčí modely a z nich pak výstupy v podobě grafů. Dochází ke kombinaci báze dat a báze znalostí.

Taktické systémy (DSS- Decidion Support Systems)

V těchto systémech je metoda Monte Carlo využívána velice často. Systém používá informační potenciál z dat uvnitř informačních systémů. Celý systém napomáhá realizaci řídící a rozhodovací činnosti. Základem je poskytnutí modelové podpory. Na základě srovnání dílčích výsledků řešení s představou lze ovlivňovat další průběh řešení. Výsledkem je vždy soubor variant, které zpřesní a urychlí jednotlivé propočty a provedou kvantifikaci rizika.

Strategické systémy (ESS- Executive Support Systems)

Tyto systémy jsou používány ve vrcholném managmentu pro strategické řízení. Základem jsou veškeré informační zdroje z IS. Jsou užívány v modelech strategického rozhodnutí. Použití metody Monte Carlo je v těchto systémech obdobné jako u DSS. Základem je využití modelů pro poskytnutí výsledků různých rozhodovacích variant (KLVAŇA 2006, s. 34).

Geografické systémy (GIS)

Tyto systémy operují s prostorovými daty. Při jejich použití lze porovnávat jednotlivé mapové vrstvy mezi sebou a libovolně je prokládat. Výhodou systému je možnost využití externích dat. Výsledkem jsou precizně zpracované geografické mapy. V základním uspořádání GIS je využití metody Monte Carlo malé. Při analýze a tvorbě map se opět pracuje s přesnými daty. Smysl využití metody přichází až jako nadstavba systému. Metoda lze využít k modelování pravděpodobnostních stavů (např. povodňové ohrožení, sesuvy půd, emisní problémy atd.).

V informačních systémech jsou data uchovávána v databázích. Nejčastěji se využívají datové sklady. Ty lze definovat jako integrované databáze uložené na serveru s operativními i historickými daty. Databáze je oddělena od ostatních operačních databází (LANDAU 2000).

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 předvídání 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

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 krajin 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 je 10 až 15% povrchu dominováno poli se zemědělskými plodinami nebo městskými a průmyslovými oblastmi, 6 až 8% zaujímají pastviny (VITOUSEK, 1997). Tento trend ovlivňující přírodní ekosystémy, je následkem celosvětové poptávky po zemědělských plodinách. Protože se nejedné 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 následný 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 funkce 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 nejvýstižněji, nelze od nich očekávat naprosto přesné a jasné výsledky. Jedná se vždy o simulace, které se ale díky vyspělejším 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 v určování pravděpodobnostních odhadů změn krajinného pokryvu. Pro simulování změn krajinného pokryvu se používá Markových 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 si cílů pro některé přechody a různé přechodové poměry v průběhu času (DANIEL a FRID, 2011). U simulování využívání půdy není rozloha limitujícím faktorem. U Markových řetězců se vyskytuje několik předpokladů. V analýzách Markovými 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.

$$P\left\{X_{n+1}=s_{n+1}\middle|X_0=s_0,\ldots,X_n=s_n\right\}=P\left\{X_{n+1}=s_{n+1}\middle|\ X_n=s_n\right\} \quad (1)$$

Při výpočtech si 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 Markovo 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 další 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 výhody a nevýhody.

Nástroj	Využití	Výhody	Nevýhody	Licence a cena
Land Change Modeler	Analýzy změn krajinného pokryvu a předpovědi vývoje do budoucnosti	Mnoho analýz mezi dvojicí map, zvýraznění změn, zhodnocení efektu změn na biodiverzitu	Nekompatibilita s S ArcGis 10	Extenze pro ArcGis 10.2, US $195 akademická licence; IDRISI Selva, US $675 akademická lic.
LandUseSim 2	Simulace dynamiky změn využívání půdy a pokryvu	Generuje různé scénáře plánování, rychlé výpočty	Nutnost úprav ASCII souboru před vstupem do ArcGis, QGis	S připravenými daty pracuje samostatně, cena nezjištěna
SemGrid	Dokáže vytvořit pravděpodobnost i přechodu mezi buňkami	Mnoho funkcí typických pro rastrový GIS, implementace Gstat	Simulační modely se vytváří ve speciální modelovacím jazyku SEMoLA	Samostatný program, zdarma

GoldSim	Simulační dynamický pravděpodob-nostní program postavený na MC simulacích	Komplexní využití na různé systémy, rizikové a rozhodovací analýzy	Nutná znalost vytváření modelů	Samostatný program, akademická licence zdarma
Vegetation Dynamics Development Tool	Modelovací nástroj využívající stavů a přechodů v krajině pro simulaci dynamiky vegetace	Využití v mnoha oborech, definuje role faktorů na dynamiku vývoje	Pracuje s poměrně starými algoritmy, dále se nevyvíjí	Samostatný program, nezjištěno
ST-Sim	Vylepšené stavovo-přechodové modelování oproti staršímu Path Landscape Model	Možnost zapojení různých simul. modelů, definování vstupů	Znalost nových možností pro prostorové modelování	Modul pro SyncroSim, zdarma

Tab. 1 Zhodnocení dostupných nástrojů pro vývoj krajiny

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. Přirozené 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 systémů 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 rizikách 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 průtoku Q_5, Q_{20} případně Q_{100} a jeho aktivní zóny. Vždy se tedy jedná hlavně o území, které odvádí většinu celkového průtoku 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.

Svahové pohyby lze posuzovat podle mnoha kritérií. Podle Savarenskije (1957), který kladl důraz na průběh smykových ploch se svahové pohyby dělí následovně.

1. Asektivní sesuvy - vznikají ve stejnorodých soudržných zeminách a k pohybu dochází po válcových (rotačních) smykových plochách

2. Konsekventní sesuvy - pohyby po plochách vrstevnatosti nebo jiných predisponovaných plochách ukloněných po svahu
3. Insekventní sesuvy - smykové vrstvy zasahují hluboko do svahu, probíhají napříč vrstvami

V České Republice navrhli rozdělení sesuvů Němčok a kol. (1972) podle rychlosti pohybu a mechanismu na: **plouzení** (pomalé), **stékání** (katastroficky rychlé), **sesouvání** (rychlé, v ČR nejčastější), **řícení** (katastroficky rychlé).

Ovlivňovat sesuvy může i složení a vlastnosti půdy, které se liší v každé oblasti dokonce i v homogenních vrstvách. Tato nestálost je zapříčiněna faktory jako proměnlivost v mineralogickém složení, fyzikální a mechanické rozkladné procesy.

Faktory ovlivňující stabilitu svahu:

- změna sklonu svahu,
- přetížení násypy,
- otřesy a vibrace,
- změny obsahu vody,
- působení podzemní vody,
- činnost mrazu,
- zvětrávání hornin,
- změny ve vegetačním porostu.

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 můžou 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

Při použití statistické metodiky pro mapování citlivosti sesuvů se využívá korelace počtu sesuvů v určitých oblastech s faktory, které mohou ovlivňovat sesuvy. Jedná se o potenciální faktory, jako je hustota vpustí, výška svahu, objem jílu, úhel sklonu a profil svahového zakřivení. V této metodě se využívá prediktivních funkcí nebo indexů odvozených vážených faktorů, které pak napomáhají při tvorbě map citlivosti sesuvů. Pro zkoumání problému touto metodou se vybírají větší oblasti, kde je typická hustota sesuvů v úzkých pásech, kvůli korelačním analýzám v jednotlivých sekcích, např. svahy údolí řek. Na rozdíl od deterministických geotechnických modelů, kde je potřeba zpracovávat velké množství podrobných dat. V případě, který se zde uvádí, má své uplatnění metoda Monte Carlo, která zde slouží k určení, jestli dochází mezi sesuvy v zájmové oblasti 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 krajinotvorné 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 jako zjištěných sesuvů v terénu 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 určitý počet zón 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 získaných 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 náročnost 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. Mapy pomáhají modelům zaznamenávat prostorové rozložení pořizovaných dat. Všechna svahová data se pomocí GIS mohou převézt na gridová data.

Základem pro provádění analýz pro sesuvné události v prostředí GIS je tvorba digitálního modelu terénu (DEM). Z digitálního modelu terénu lze vypočítat úhel sklonu a aspekt svahu pro celou oblast DEM. Dále je nutná znalost distribuce vodních toků. Ze všech potřebných údajů se provádí výpočty pravděpodobnostní distribuce svahových poruch. 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 oblastí. 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 bězích, kde každý běh představuje jeden simulovaný požár. Všechny vzniklé mapy rozložení 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 multikriteriální 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).

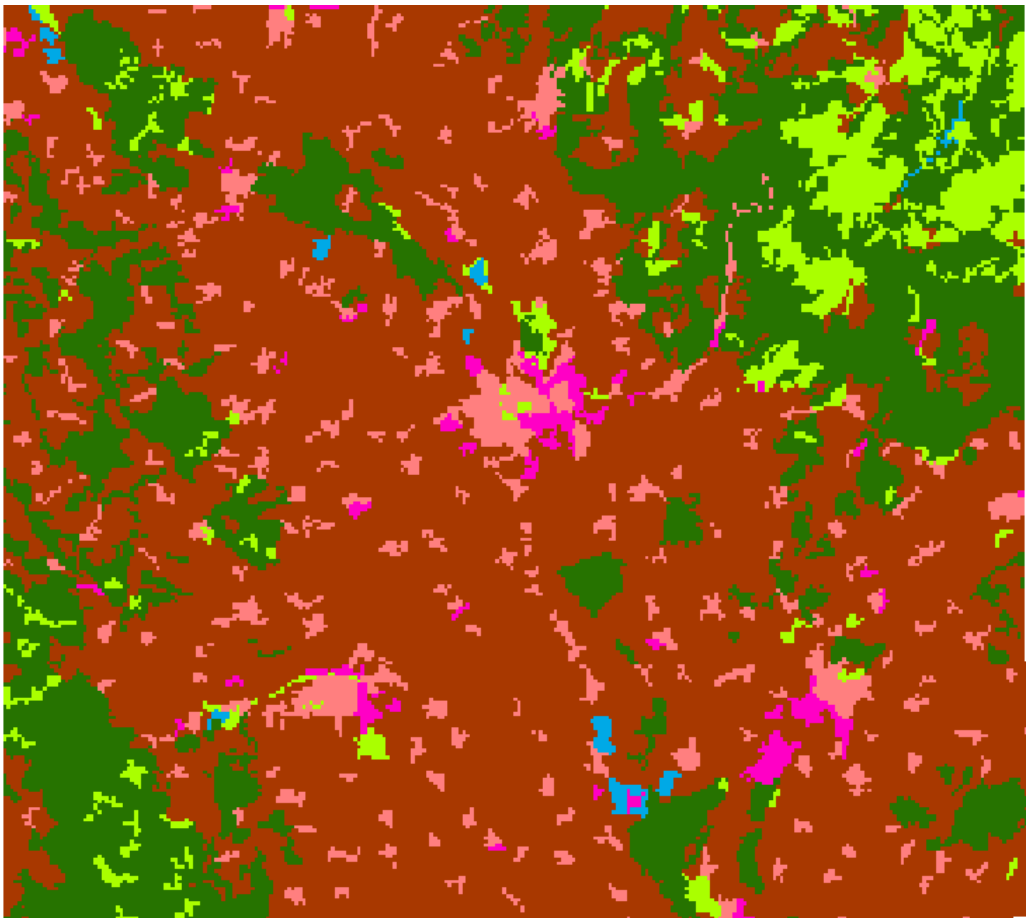
5 URČOVÁNÍ ZMĚN V KRAJINĚ POMOCÍ MONTE CARLO SIMULACE

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 prováděli 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 předsudkům. 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 zemědělským 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.

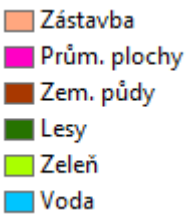
Při použití podobného principu ve zjišťování změn v krajině, je také potřeba vědět počet bodů, u kterých se zjistí jejich stav oproti jeho minulému stavu. Pro toto zjištění se může vytvořit určitá hypotéza změny či nezměny pro konkrétní klasifikovanou oblast z dostupných informací. Pravdivost této hypotézy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

V této ukázkové studii se použila 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, přibližně 50 km x 50 km kolem Olomouce. Poté se podle této masky provedl ořez nástrojem *Extract by Mask* (Spatial analyst) pro včechy 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.



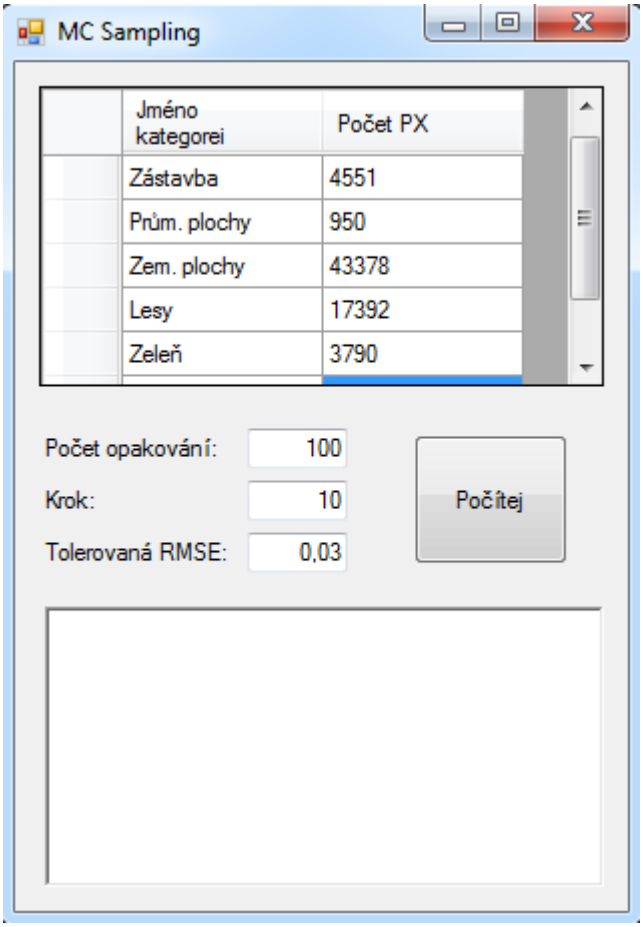
Obr. 2 Snímek z roku 1990 reklasfikovaný do 6 kategorií



Obr. 3 Šest zvolených kategorií na snímku

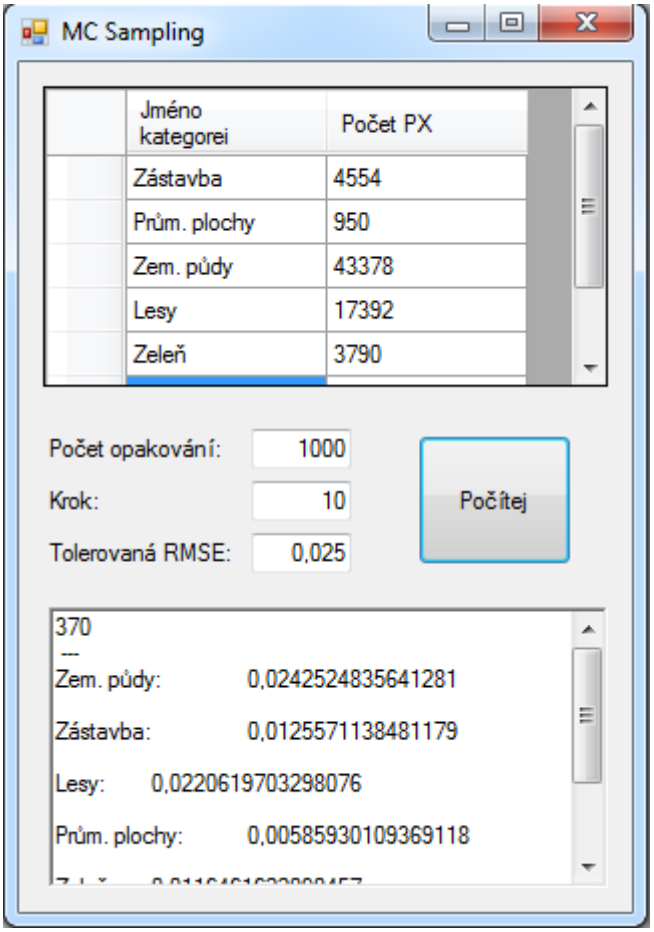
Ze snímku na obr. 2 se zjistilo, jakou plochu zabírá každá kategorie a tyto údaje se použily jako vstupy do vytvořené aplikace MCSampling.

Aplikace vybírá náhodné body z matice, která je vygenerována ze vstupů z prvního snímku z roku 1990.



Obr. 4 Vstupy do simulace

Z těchto vstupů pak aplikace počítá konkrétní počet bodů, které za zvolené tolerované RMSE hodnoty vystihuje danou oblast. Root mean square deviation, error (RMSE) představuje směrodatnou odchylku rozdílů mezi odhadovanými a pozorovanými hodnotami. Aplikace začíná s 10 body, které jsou náhodně vybrány z matice, a počítá jejich chybovost pro každou iteraci. To znamená, že pro každý počet náhodně vybraných bodů z matice, počítá RMSE hodnotu tolikrát, kolikrát je zvolen počet opakování. V tomto ukázkovém případě na obr. 4 počítá chybovost pro každých 10 bodů 100 krát. Je zřejmé, že čím je vyšší počet opakování, tím je i vyšší přesnost výpočtu. Ale je také delší čas potřebný pro výpočet. To je také jeden ze základů metody MC. Po nastavených vstupních hodnot aplikace počítá do té doby, dokud nedosáhne počtu bodů podle považované RMSE hodnoty. Jakmile ji dosáhne, výpočet končí.



Obr. 5 Výstupy

Z výpočtu aplikace MCSampling Obr. 5 vyplývá, že pro dodržení 2,5 % hodnoty RMSE je potřeba použít 370 náhodně vygenerovaných vzorků do zájmové oblasti. Tento počet bodů se vygeneroval do novějších snímků z roku 2000 a 2006, a zjišťovalo se, jestli tento počet bodů vystihnul změny v oblasti.

[%]	Snímek 1990	Snímek 2000	Snímek 2006	Náhodné body 2000	Náhodné body 2006
Zástavba	6,47	6,52	6,62	8,38	7,30
Prům. plochy	1,35	1,53	1,58	1,62	1,89
Zem. půdy	61,66	62,5	59,01	56,49	56,22
Lesy	24,72	23,78	24,21	26,75	27,30
Zeleň	5,39	5,24	8,18	6,22	6,76
Voda	0,41	0,43	0,40	0,54	0,54

Tab. 2 Procentuální rozložení kategorií v oblasti pro jednotlivé snímky a náhodně vygenerovaných 370 bodů

Z tabulky je patrné, že v oblasti byl zaznamenaný mírný nárůst kategorií Zástavba a Průmyslové plochy. Oba tyto trendy vygenerované body v oblasti vystihly v porovnání s původním snímkem z roku 1990. Zemědělské půdy obzvláště v roce 2006 se zmenšily svou rozlohu. Tento fakt vzorkovací body v roce 2006 vystihly, ale v roce 2000 se mírný nárůst zemědělských půd oproti roku 1990 vzorkovacími body nezaznamenal. Stejně tak lesy podle náhodných bodů naznačovaly mírný nárůst, ale realita byla spíše stagnace lesů. Tuto skutečnost lze zařadit do statistických odchylek a vysoce zvolené hodnoty RMSE. Nárůst zeleně byl vzorkovacími body vystihnut. Voda pro své malé zastoupení v oblasti nemá pro statistické analýzy velkou vypovídající hodnotu.

Z těchto výpočtů vyplívá, že pro dodržení dostatečné přesnosti výpočtů je 2,5 % hodnota chyby RMSE hraniční hodnotou pro výsledky s dobrou vypovídající hodnotou. Velikost tolerované chyby je potřeba dobře zvážit v závislosti na dostupných prostředcích, času pro terénní šetření, a charakteristice území.

Pro terénní šetření v zájmové oblasti lze stanovit ze snímků hypotéza, že by ve zkoumané oblasti měl nastat mírný nárůst zastavěných a průmyslových ploch. Hypotéza ale může vzniknout i na základě jiných dostupných informací o území. Naopak zemědělských půd by mělo mírně ubývat. Lesy by se neměly příliš měnit, ale zeleň by se měla rozšiřovat.

Pravdivost této hypotézy lze ověřit navštívením 540 náhodně vygenerovaných bodů do zájmové oblasti pomocí Globálních polohovacích systémů. 540 je navrhováno ze zkušeností nabytých z použití 370 bodů při hodnotě RMSE 2,5 %. Tato hodnota sice většina trendů počtem 370 bodů vystihla, ale při ověřování se vyskytly i menší odchylky. 540 bodů bylo získáno z výpočtů aplikace, kde se nastavila tolerovatelná RMSE hodnota na 2% a jako vstupy posloužily údaje z novějšího snímku z roku 2000. Použití 2% RMSE se vyzkoušelo na snímcích stejným způsobem jako s 2,5 % RMSE. Při ověřování byly všechny trendy dostatečně vystiženy. Lze proto tvrdit, že 2 % hodnota RMSE a nižší je možné použít pro statistické analýzy zájmové oblasti pro ověření pravdivosti původní hypotézy. A to tím způsobem, že se porovná procentuální zastoupení pro každou kategorii ze vzorků se vstupními údaji do simulace.

6 VÝSLEDKY

Výsledkem bakalářské práce je obecný popis metody Monte Carlo od počátku jejího vzniku až po nalezení a zhodnocení využití Monte Carlo simulace ve vývoji krajiny. K těmto výsledkům se dospělo rešerší dostupné literatury zabývající se touto tematikou. Rešerše vedla k pochopení podstaty metody a vytyčení jejích nevýhod a výhod oproti jiným metodám. Tato práce objevila celou řadu možných využití a také zhodnotila dostupné nástroje pro práci s ní.

U nalezených možností využití se pro každý případ popsalo, jakou roli v řešení situace zastává MC simulace. Při výpočtech změn v krajině se využívá v algoritmech výpočtů jednotlivých nástrojů Monte Carlo Markových řetězců. Markovy řetězce využívají pro své výpočty pravděpodobností přechodů mezi jednotlivými stavy, a kde každý výsledek pokusu závisí na výsledku pokusu předchozího (DÖMEOVÁ, 2010). V případě použití MC simulace u procesu vzorkování se této simulace využívá k zjištění optimálního počtu vzorků. Tohoto principu se použilo pro ukázkovou studii v této práci. Stanovit počet reprezentativních vzorků pro terénní ale i jiná šetření je vždy obtížný úkol. Pro rozřešení tohoto problému vznikl simulační program MCSampling, Tento program slouží pro výpočet optimálního počtu bodů, které je potřeba v terénu navštívit, aby mohla být vyvrácena nebo podpořena stanovená hypotéza o změně ve vývoji krajiny v daném území. Za studované území se zvolila čtvercová oblast kolem Olomouce přibližné velikosti 50km x 50km. Pro ověření výpočtů a zjištění jaké trendy ve vývoji krajiny se v oblasti vyskytují, se použily snímky pro tři různá časová období. Použily se snímky z roku 1990, 2000 a 2006. Oblast byla podle vlastního uvážení reklasifikována do šesti kategorií. Z prvního nejstaršího snímku se zjistilo rozložení pixelů pro každou kategorii a tyto údaje se použily jako vstupy do simulačního programu. Pro výpočet bylo potřeba ještě zadat tolerovatelnou hodnotu RMSE pro výsledný počet vzorkovacích bodů. Jako první se testovala hodnota RMSE 2,5%. Pomocí takové velikosti RMSE se dospělo k 370 bodům, které mají být náhodně vygenerovány do oblasti. Tento údaj o velikosti chyby byl inspirován studií podle MAEDA a kol. 2010, kde ve svém zkoumání použili podobného principu. Hodnota RMSE 2,5% se projevila jako hraniční pro výsledky s dobrou vypovídající hodnotou. Přestože s touto hodnotou vystihly vzorkovací body většinu trendů a změn v oblasti, objevily se také kategorie jako lesy, kde jejich vývoj podle vzorkovacích bodů neodpovídal skutečným jevům v průběhu času. Proto se doporučuje hodnota RMSE podle tohoto testování na 2% a nižší. Když se použilo v simulačním programu 2 % RMSE, zjistilo se, že je potřeba v terénu navštívit 540 bodů.

Z dosavadního testování je zřejmé, že čím víc bodů se navštíví, tím přesnější budou výsledky. Ale přesně z tohoto důvodu se využilo simulace pro zjištění, kolik bodů je už navštívit zbytečně mnoho a zase naopak kolik bodů je málo. Na těchto základech je Monte Carlo simulace postavena. 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.

U dalších využití jako jsou povodně, požáry nebo sesuvy půd podle geotechnické metodiky se MC simulace využívá v situačních modelech. Modely se zpravidla mnohokrát opakují a při každém opakování se podle zvolené metodiky mění vstupy. Výsledky se pro každé opakování zaznamenávají. Ze všech výsledků z opakování se nejčastěji vytvoří průměr a ten je považován za výsledek modelu. Využití MC simulace u sesuvů pomocí statistické metodiky je trochu jiné. Zde se porovnávají sesuvy s náhodnými body a pomocí korelací jednotlivých parametrů mezi nimi se zjišťuje důležitost pro každý parametr v procesu sesouvání (KUKEMILKS a SAKS 2013).

V nejistotních analýzách se pomocí MC simulace zjišťuje, jak můžou konkrétní vstupy ovlivňovat výsledky analýz.

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

7 DISKUZE

Cílem bakalářské práce bylo nalezení a zhodnocení Monte Carlo simulace v oblasti geoinformatiky ve vývoji krajiny. Měla se zhodnotit implementace simulací a nástrojů souvisejících s nimi v GIS. Vzhledem k tomu, že pro většinu nástrojů se nepodařilo získat potřebné licence, proběhla ukázková studie využití simulace Monte Carlo ve vývoji krajiny v softwaru ArcGis 10 za pomoci samostatně vytvořeného programu, který byl pojmenován MCSampling.

První problém, který se řešil hned na začátku praktické části, byl výběr vhodných dat. K vyzkoušení si metodiky použité v praktické části této práce bylo potřeba mít data, ze kterých šlo 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, kde se stáhly datasety pro celou Evropu pro roky 1990, 2000 a 2006. V datasetech byly k dispozici i legendy pro všechny kategorie na snímku. Uváděné rozlišení 100m pro každý pixel u nejstaršího snímku z roku 1990 neodpovídalo tomuto údaji při porovnáním s novějšími snímky.

Druhým problémem byla samotná tvorba programu MCSampling. K uspokojivým výsledkům bylo zapotřebí skloubit dohromady několik cyklů a k jejich doladění bylo potřeba celý kód přepisovat několikrát celý od znova.

Dalším problém bylo zjistit, jak velká hodnota RMSE je k analýze dostatečná. Proto se nejdříve vyzkoušela hodnota 2,5 %, kde této přibližné velikosti chyby použily ve svém průzkumu MAEDA a kol. 2010, u podobně velké oblasti. Následným testováním se zjistilo, že pro zkoumání změn vývoje krajiny je ideální hodnota chyby maximálně 2%. Velikost tolerované chyby ale závisí na velikosti a charakteru území a tento fakt je při volbě velikosti tolerovatelné chyby potřeba zvážit. Zvýšení přesnosti výsledků lze dosáhnout rozdělením oblasti do většího počtu kategorií, pokud se jedná o příliš homogenní oblast, nebo pomocí stratifikace území, kde by se kontrolovaly např. okraje kategorií.

Tato metodika přináší způsob jak si relativně rychle, levně a co nejrychleji ověřit svoji hypotézu změny krajiny, za použití Monte Carlo statistické simulace, pokud ještě nejsou k dispozici nejaktuálnější snímky pro zkoumanou oblast. Získané výsledky mohou pomoci k rozvoji plánování a hodnocení navrhovaných rozhodnutí.

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 metody a nalezení jejího vhodného využití. Využití se našla pomocí volně dostupných publikací, ve kterých byla MC simulace použita k vyřešení 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 změny krajiny a její následný odhad vývoje do budoucnosti. Takové nástroje jsou většinou úzce propojeny s GIS, jelikož zpracovávají a analyzují prostorová data, a proto byl na ně kladen důraz.

Nejobtížnějším a zároveň nejzásadnější přínosem této práce byla tvorba vlastní aplikace MCSampling. Pomocí MCSampling je možné vypočítat optimální počet vzorkovacích bodů pro statistické analýzy. V případě, který zde byl uveden jako ukázková studie, se použily výpočty aplikace pro potvrzení hypotézy o změně v krajině. Do aplikace je potřeba zvolit tolerovatelnou chybu RMSE. Tuto hodnotu je možné získat způsobem, jaký byl uveden v této práci. To znamená, vyzkoušet zvažovanou velikost chyby na starších nebo dostupných snímcích zájmové oblasti. Podle rozlohy a heterogenity oblasti je možné zvolit také počet bodů, o jaký se má v simulaci navyšovat výpočet pro hodnotu RMSE jednotlivých vzorků. V aplikaci je tato možnost pojmenována jako Krok. Další možností nastavení v aplikaci je počet opakování. Počet opakování slouží k tomu, aby se určilo kolikrát se má vypočítat hodnota RMSE pro každý zvažovaný počet vzorků. Čím vyšší počet opakování se zvolí, tím menší je vliv náhody na výsledek. Přesnost výsledků stoupá s počtem opakování a stoupá také čas potřebný pro výpočet.

Bakalářská práce ukázala případy, ve kterých se uplatňuje Monte Carlo simulací, zhodnotila nástroje pro práci s ní a poskytla volně dostupnou aplikaci MCSampling k výpočtu optimálního počtu bodů 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.

NEMČOK, A., J. PAŠEK a J. RYBÁŘ. *Classification of landslides and other mass movements*. Bratislava: Springer-Verlag, 1972. ISBN váz.

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.

SAVARENSKIJ, Fedor P. *Inženernaja geologija*. Moskva: Gos.izdat.lit.po strot.i arch., 1957. ISBN váz.

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

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/ycs/SpeakerPresentations/Acropolis2/Day3/Session%20VIIIB_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%20sensing%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

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/isprscom8/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 usingan 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 simulation 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 get in where MC simulations and models were used. The cases were separately jugged with emphasis on MC method. They were cases like dynamics of landscape change, sampling, floods, landslides, fires and uncertainty analysis.

Then came into being a main part of this thesis. It was new created application called MCSampling. 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. The similar pricip was used in creating a MCSampling aplication.
In this study was the application used for detecting changes in landscape by using the sampling points. This approach was tested in selested area around Olomouc city. For this area was arranged three satelites pictures from years 1990, 2000 and 2006. From this pictures can be set a hypothesis of development dynamics to date. The truthfulness of this hypothesis can be checked by MCSampling analysis. The satelite pictures was downloaded from freely accessible database of European Environment Agency. The inputs into aplication 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. The entered 2,5 % RMSE was tested by applying it into two later satelites pictures of a same area. Another two parametres needed to be entered into MCSampling. It was a number of iterations for each estimated number of points and step of how many points is 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 2,5 % RMSE along with 370 random points had a quite good results. The 370 points was randomly generated into satelite pictures of 2000 and 2006. These points well represented most trends in landscape during the past yeary but there were found categories where the trend according to points was not good enought. Thats why it is recomended to use 2 % and lower RMSE for statistical analyses in this study arey. The 2% RMSE was tested the same way and the trends in every category were well

represented.By this testing the hypothesis of landscape development can be checked using 2% RMSE bringing 540 sampling points.

The implementation of this approach brings quick, comparatively cheap and statistically proven way to verify hypothesis of landscape development when there are no up to date satelites 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