Modelování využití území v kontextu ekosystémových služeb

Vilém PECHANEC

KATEDRA GEOINFORMATIKY
Univerzita Palackého v Olomouci

Modely pro ekosystémové služby

- modely pro některé ES funkce jsou dobře dostupné
- pro jejich použití v ČR je klíčová dostupnost dokumentace
  - seznam a struktura vstupních dat
  - objasnění algoritmů a parametrů

- využívají dnes standardní GIS formáty => netřeba předělávat data
- řadu jevů možno modelovat v prostředí, které již dnes používáme
  - výsledky funkcí použít do 3. stupně
- „zjednodušování“ výpočtu dáno:
  - a) nedostatkem detailních dat pro pilotní oblasti
  - b) nedostatečnou algoritmizací

- **návrhy scénářů a vzájemné porovnání výsledků** se odehrává mimo ES modely

- InVEST
- ARIES
- WEAP
- WASSI
- IMAGE
- GLOBIO3
- LandsFACTS

Princip ekosystémových modelů

- 3-stupňová architektura

1. popis prostředí

- prostorová data – vylišení krajinných segmentů a jejich vlastností (dominantně LULC)
- popis proměnných prostředí (*enviromental variables ~ senzu IT*)
- realita → model (jak zachytit realitu v PC)
  - datová vrstva, skalár, funkce
  - vektor x raster reprezentace
  - ostrá x fuzzy množina
- dáno sw prostředím - vychází z běžných prostředí se všemi klady/zápory

2. modelování vlastního ekologického jevu/procesu jevu = biofyzikální modely

- algoritmus úlohy – klíčová je dokumentace
- **výstupy**: mapy, biofyzikální výstupy, trade-off křivky
- zaměření modelu
  - univerzální modely (InVEST, ARIES)
    - slupkovitý přístup x zjednodušování - 2-3 stupně - hloubka modelu
      - (zadržení živin: CN křivka → SWAT)
    - vývoj modelu
    - dokumentace
    - dobře přenositelný
  - (expertní) case studies modely
    - nejsou dostupné, výsledek studie
    - opakovatelnost?
    - propracované algoritmy

3. ocenění (ekosystémové) služby – ekonomické modely

- algoritmy a jejich hodnoty (globální)
- **výstupy:** monetární výstupy, mapy, trade-off křivky

Scénáře LULC

- LULC – popisuje stav krajiny k k určitému okamžiku (intervalu)
- klíčový bod pro modelování ES funkcí (v čase) je modelování vývoje LULC
- budoucí LULC – tvorba mimo ES modely
- *V kontextu ekosystémových služeb je potenciální změna v poskytování ekosystémových služeb na základě různých scénářů změny LULC důležitým způsobem vyhodnocování dopadu těchto alternativ*

Přístupy k tvorbě budoucího LULC

- **participativní návrh**
  - (pro model) dodány limitní hodnoty (rozlohy) a preference → modeluje se distribuce
  - scénář vzniká spoluprací (diskuzí) s zúčastněnými stranami a vypracování mapy* pro každý aspekt
- **predikce**
  - **analýza trendu**
    - na základě minulých zkušeností, je možné pomocí statistických metod předpovídat, kde se s největší pravděpodobností vyskytne změna v krajině.
    - na základě historických a současných stavů a odvozených pravděpodobností → prediktivní modelování distribuce i zastoupení
  - **přístupy založené na pravidlech**
    - scénáře se definují pomocí sady pravidel na základě socioekonomických nebo biofyzikálních principů, které v dané oblasti jsou pravděpodobně nejvhodnější pro konkrétní použití nebo činnost
- **zadáno**

Časoprostorové prediktivní modely

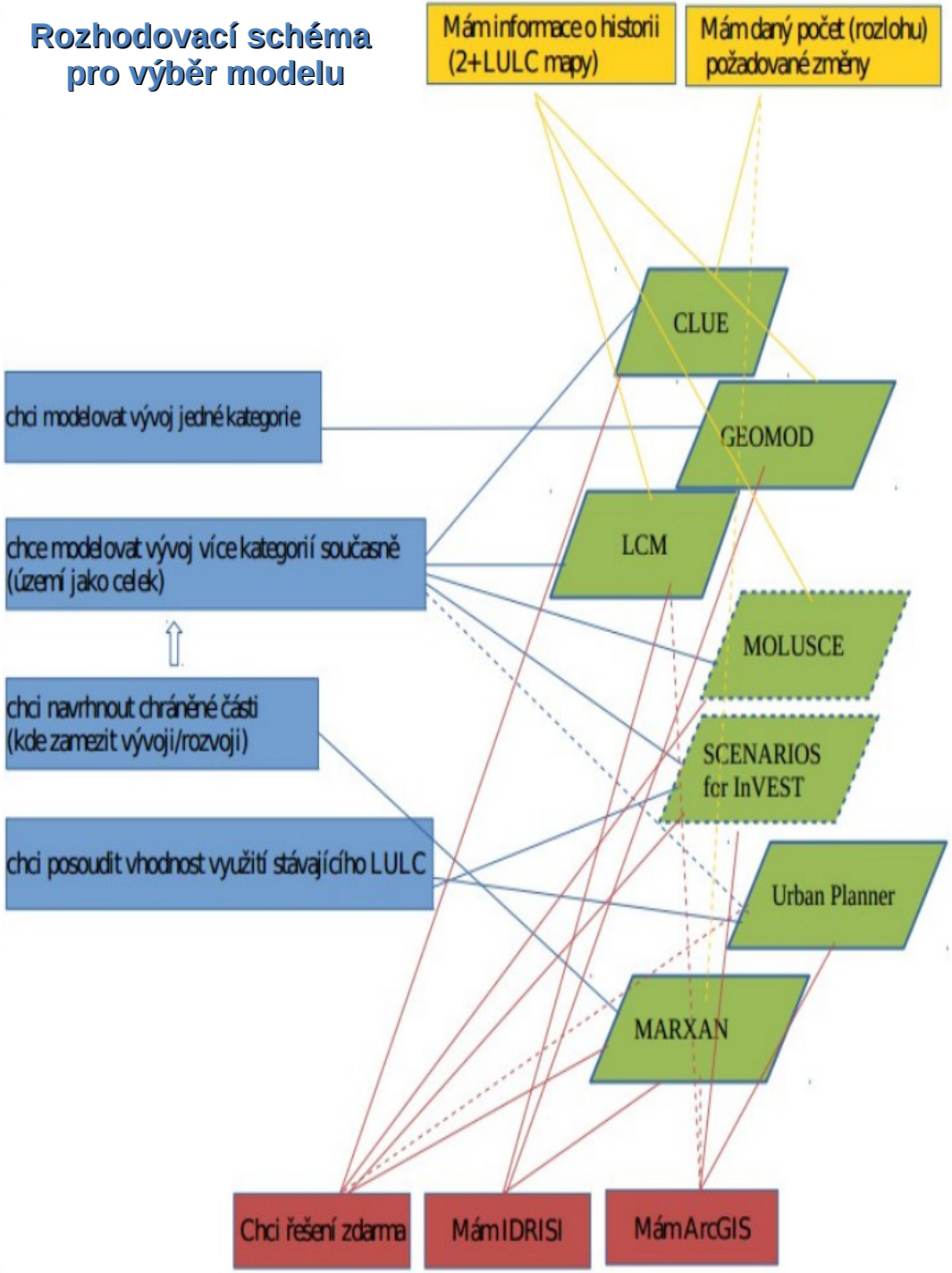
- **Modelování** = přibližná reprodukce charakteristických vlastností originálu, přičemž tímto originálem může být libovolný předmět, proces nebo jev v reálném světě (Haggett, 2001)
- **Prediktivní modelování** = odvození nových jevů a stavů pro budoucí etapu (Kubošová, 2010)

- statické (LUT-models) a dynamické (CA) (Brown a kol., 2004)
- prostorové a neprostorové (bez prostorové distribuce – pouze rychlost a rozsah změněného krajinného pokryvu)

- **Dělení podle hlavních metod**
  - CA modely
  - Statistické modely
  - Modely pracující s neuronovou sítí
  - Modely s agentem
  - Kombinace modelů

	CLUE	LCM	MOLUSCE	SCENARIOS for InVEST	Urban Planner	MARXAN	GEOMOD
Cena	Free	Komerční	Free	Free	Free	Free	Komerční
Typ aplikace	Stand-alone	Součást IDRISI / doplněk do ArcGIS	Doplněk do QGIS	Součást InVEST	Doplněk do ArcGIS	Stand-alone / součást IDRISI	Součást IDRISI
Stabilita	Vysoká	Nízká	Velmi nízká	Velmi nízká	Střední	Vysoká	Střední
Podporované formáty dat	ASCII	Rastry - RST (*Idrisi formát*)	Rastry - GeoTIFF	Rastry - Esri GRID	Vektory a rastry - Esri	ASCII	Rastry - RST (*Idrisi formát*)
Vývoj	dlouhý, vlastní vývojový tým	dlouhý, vlastní vývojový tým	nahodilý	teprve na počátku, vlastní tým	pozvolný; vývoj 1 člověk	dlouhý, vlastní vývojový tým	dlouhý, vlastní vývojový tým
Vstupy LULC	1x mapa	2x mapa	2x mapa	1x mapa	1x mapa	1x mapa	2x mapa
Definování potenciálu přechodu	Ručně, číselné hodnoty	Automatick y @sw	Automatick y @sw	?	neumí	neumí	Automatick y @sw
Pracuje s historií území	Velmi omezeně	Ano	Ano	?	Ne	Ne	Ano
Definování faktorů	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Hlavní účel	Rozmístění jednotlivých pixelů LULC podle uživatelem zadaných hodnot na základě vhodnosti území	Identifikace změny a odvození trendů vývoje (počet a rozmístění) jednotlivýc h pixelů LULC na základě vhodnosti území	Stejně jako LCM – snaha o jeho Open Source variantu	Tvorba mapy vývoje LULC z textových scénářů.	Vyhodnocen í územního potenciálu území a detekce optimálních ploch vhodných pro územní rozvoj.	Plánování chráněných lokalit - aby obsahovala konzervační prvky a celkové náklady na vybranou síť plánovacích jednotek co nejnižší.	Modelování změny 1 kategorie do budoucna.

Rozhodovací schéma pro výběr modelu



1. Cellular automata (CA)

- **metoda schopná imitovat proces odehrávající se v prostoru** na základě jednoduchých rozhodovacích, přechodových pravidel
- diskrétní a dynamický proces
- buňky jsou organizovány **v pravidelném prostoru**
- každá buňka může být reprezentována jedním z **konečně mnoha stavů** (diskrétní množina)
- iterační proces, stavy jsou aktualizovány po každém časovém kroku
- budoucí stav buňky závisí na přechodových pravidlech a na stavech nebo funkcích buněk okolních
- pravidla pro změnu stavů jsou určována **filtrovacím a reklasifikačním souborem**
- pomocí rozhodovacích pravidel simulován šířící se proces, jeho intenzita a směr
- základní metoda je složena ze 4 komponent (Rafiee a kol., 2008)
  - prostor buněk (pixel)
  - stav,
  - okolí
  - přechodové funkce
- SLEUTH model (Clarke a kol., 1997); LEAM - Land use Evaluation and Impact Assessment Model (Sun a kol., 2005); DUEM - Dynamic Urban Evolutionaty Modelling (Batty a kol., 1999); METRONAMICA - (Mohmand, 2011); DINAMICA - (Thap a Murayama, 2010)

Stanovení přechodových pravidel

- ! neexistuje standardní metoda, jak tato pravidla definovat (Al-Kheder, 2008)

I. teorie neostrých množin (fuzzy sets theory)

- počítá s určitým stupněm vývoje v dané oblasti.
- pracuje s nepřesnými nebo s vágními daty - vedle „ano“, „ne“ je možné nyní pracovat i s hodnotami „mezi“ - pojmy „trochu“, „hodně“...

II. multikriteriální analýzy (MCE)

- hledání řešení vzhledem k zadaným kritériím
- **faktory** - většinou spojitého charakteru – např. zmíněný sklon a vzdálenost,
- **omezení** - vždy dichotomická proměnná (true a false) - slouží k vyloučení nevhodných území

- vážená kritéria - kritérium s vyšší vahou je důležitější než kritérium s váhou nízkou
- není výjimečné, že MCE a fuzzy logika jsou **použity současně** → fuzzy funkce se používají ke standardizaci zvolených kritérií

2. Statistické metody

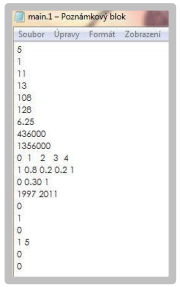
2.A Logistická regrese

- zabývá se **odhadem pravděpodobnosti jevu y (závislá proměnná) na základě nezávislých proměnných, který výskyt jevu y mohou ovlivnit**
- proměnná Y nabývá pouze hodnot 0 (jev nenastal) a 1 daný jev nastal (mokřad se vyskytuje)
- **Conversion of Land Use and Its Effects (CLUE)**
  - dynamický, více-měřítkový model změn využití krajiny (Wageningen, 1996)
  - pracuje pouze s textovými soubory !
  - kombinuje **logistickou regresi** a informace od sousedních buněk, podobně jako CA
  - výsledky predikce použity k tvorbě **vhodnostních map**, na jejichž základě jsou **alokovány jednotlivé změny krajinného pokryvu**
  - **rozloha změn**, resp. rozloha každé kategorie krajinného pokryvu **v predikovaném čase je dána uživatelem**
  - každá buňka je charakterizována údajem, ukazujícím **pro každou kategorii** krajinného pokryvu, jak moc by bylo vhodné změnit stávající kategorii (**míra vhodnosti)**
  - nové využití je rozmístěna do míst s největší mírou vhodnosti pro daný typ LU

Vstupní parametry

Hlavní parametry

- popis kategorií krajinného pokryvu
- počet regionů
- nejvyšší počet nezávislých proměnných
- počet faktorů, počet řádků a sloupců
- velikost buněk
- X a Y souřadnice levý dolní roh
- kódování krajinných typů



Požadavky na využití území

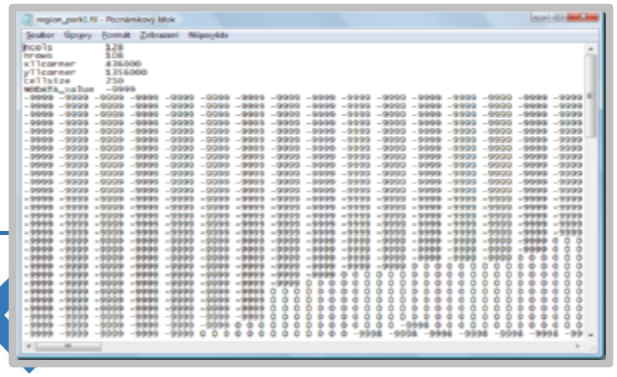
- definování scénáře vývoje
- textový soubor (demand.in1)
- obsahuje rozlohu krajinného pokryvu

Oblasti určené k simulaci

- definuje oblast pro modelování
- rastrový soubor ve formátu ASCII
- počet řádků
- počet sloupců
- 3 hodnoty: -9999, 0, -9998

Matice přechodů

- indikuje povolené změny mezi typy krajinného pokryvu
- Dichotomická hodnota (1 x 0)



- Tvorba dat, konverze
- Výchozí stavy LULC (2
- Řídící faktory
- Logistická regrese
- Matice přechodů
- Demand soubor
- Elasticita

cov_all – Poznámkový blok

Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda

```
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -999
```

Variables in the Equation

demand – Poznámkový blok

Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda

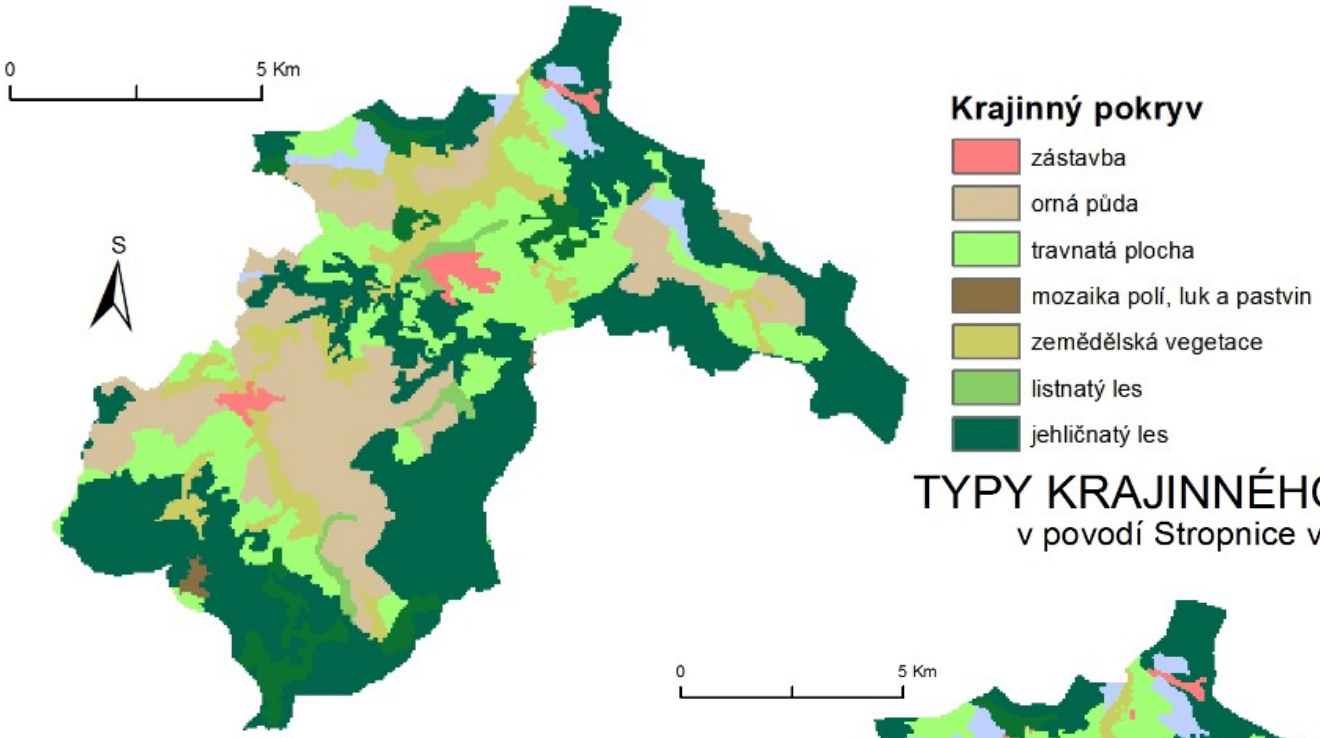
```
35
157     1968.5  1856.25 32.5    872.25  141.25  4120    446.75  246.5
165     1968.5  1856.25 32.5    864.25  141.25  4120    446.75  246.5
173     1968.5  1856.25 32.5    856.25  141.25  4120    446.75  246.5
181     1968.5  1856.25 32.5    848.25  141.25  4120    446.75  246.5
189     1968.5  1856.25 32.5    840.25  141.25  4120    446.75  246.5
197     1968.5  1856.25 32.5    832.25  141.25  4120    446.75  246.5
205     1657    2134    0       824.25  141.25  4120    513     246.5
213     1657    2134    0       816.25  141.25  4120    513     246.5
221     1657    2134    0       808.25  141.25  4120    513     246.5
229     1657    2134    0       800.25  141.25  4120    513     246.5
237     1657    2134    0       792.25  141.25  4120    513     246.5
245     1657    2134    0       784.25  141.25  4120    513     246.5
253     1260    2454    0       776.25  141.25  4120    590     246.5
261     1260    2454    0       768.25  141.25  4120    590     246.5
269     1260    2454    0       760.25  141.25  4120    590     246.5
277     1260    2454    0       752.25  141.25  4120    590     246.5
285     1260    2454    0       744.25  141.25  4120    590     246.5
293     1260    2454    0       736.25  141.25  4120    590     246.5
301     804     2822    0       728.25  141.25  4120    678     246.5
309     804     2822    0       720.25  141.25  4120    678     246.5
317     804     2822    0       712.25  141.25  4120    678     246.5
325     804     2822    0       704.25  141.25  4120    678     246.5
333     804     2822    0       696.25  141.25  4120    678     246.5
341     804     2822    0       688.25  141.25  4120    678     246.5
349     279     3245    0       680.25  141.25  4120    780     246.5
357     279     3245    0       672.25  141.25  4120    780     246.5
365     279     3245    0       664.25  141.25  4120    780     246.5
373     279     3245    0       656.25  141.25  4120    780     246.5
381     279     3245    0       648.25  141.25  4120    780     246.5
389     279     3245    0       640.25  141.25  4120    780     246.5
397     0       3731    0       308.25  141.25  4120    897     246.5
405     0       3731    0       300.25  141.25  4120    897     246.5
413     0       3731    0       292.25  141.25  4120    897     246.5
421     0       3731    0       284.25  141.25  4120    897     246.5
429     0       3731    0       276.25  141.25  4120    897     246.5
```

Výstupy

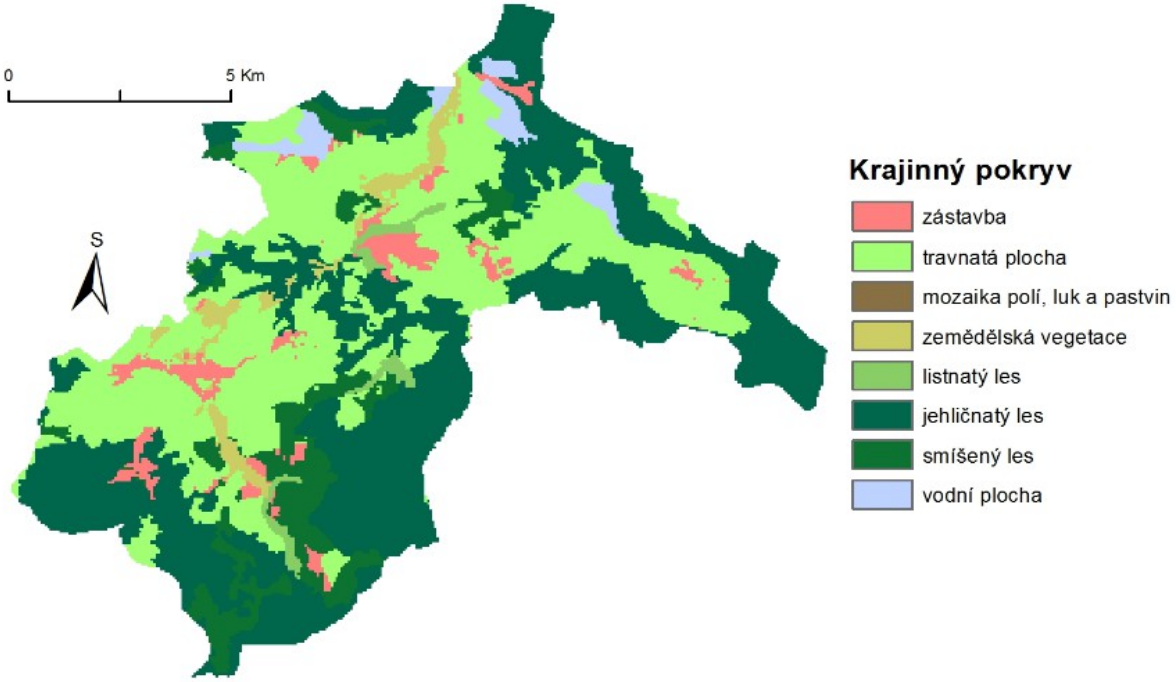
- soubory znázorňující změnu pro každý rok (cov_all.1)
- formát ASCII
- pro vizualizaci nutnost editace na cov_all1.asc

Výhody	Nevýhody
jednoduché prostředí	nutnost použití dalších SW
stabilita a přesnost výsledků	časově náročná příprava dat
snadná úprava hlavních parametrů a matice přechodu přímo v programu	textové podoba dat

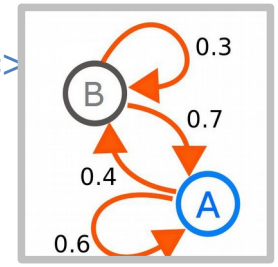
TYPY KRAJINNÉHO POKRYVU
v povodí Stropnice v roce 2006



TYPY KRAJINNÉHO POKRYVU
v povodí Stropnice v roce 2040

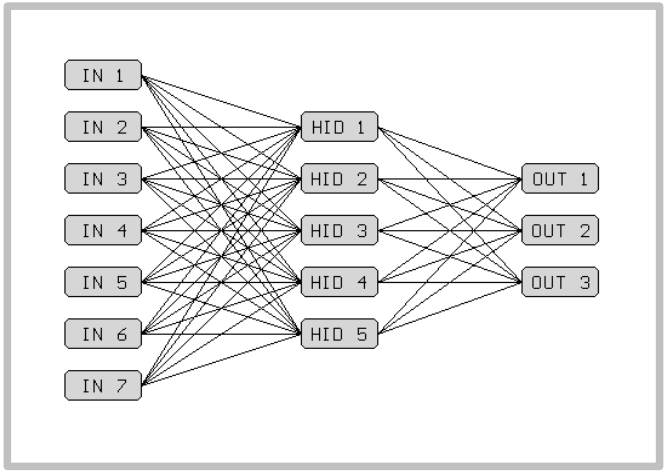


2.B Markovovy řetězce



- budoucí stav závisí **pouze na stavu aktuálním** a ne na stavech předcházejících => **pravděpodobnost další události není závislá na události předchozí**
- stochastický diskrétní řetězec
- ukazují trend změn, jejich směr a velikost
- změny vyjádřeny pouze **číselně**, jejich rozmístění v prostoru je náhodné → nedostatečné prostorové vyjádření => kombinace s jinými metodami, CA (Pointus a Malanson, 2005)
- modul MARKOV @ IDRISI - analyzuje dvojici obrazů krajinného pokryvu
  - **Rastr podmíněné pravděpodobnosti** - udává s jakou pravděpodobností bude každý typ krajinného pokryvu nalezen v každém pixelu po uplynutí definovaného počtu časových jednotek
  - **Matice pravděpodobnosti přechodu** - zaznamenává pravděpodobnost přechodu dané kategorie krajinného pokryvu do jiné kategorie
  - **Matice přechodových oblastí** - zaznamenává počet pixelů, u kterých se očekává, že se změní z daného typu krajinného pokryvu do jiného typu krajinného pokryvu během specifikovaného počtu jednotek času
- Zhang a kol., 2011, Wenga, 2002, López a kol., 2001

3. Modely s neuronovou sítí (ANN)



- Neuronová síť je složena z několika **vrstev neuronů**
- neurony v síti plní dvě základní funkce
  - přijímají signál od neuronů v předchozí vrstvě
  - jako vstup přenášejí tento signál neuronům v další vrstvě

- signály šířící se z jednoho nódu do druhého jsou modifikovány vahami
- váhy jsou určeny tzv. trénovacími (učícími) algoritmy - algoritmus „Back Propagation“
- učením se nastavují váhy tak, aby byly výsledky co nepřesnější.
- vstupy jsou počítány podle vzorců.
- výsledek této funkce je pak vstupním signálem do další vrstvy. Tento proces se opakuje, dokud signál nedorazí do výstupní vrstvy.
- Land Transformation Mode
- Pijanowski a kol., 2012, Almeida a kol., 2008, Li a Yeh, 2002

4. Modelování pomocí agentů

- = Agent-based modelling (ABM), agent-based systems (ABS) = agent-based modelling and simulation (ABMS)
- Agent je reálný nebo abstraktní objekt, schopný řídit sám sebe a své okolí, schopný komunikovat s ostatními agenty (Verburg a kol., 2004).
- Na základě interakcí s okolním prostředím a s ostatními agenty je schopný provádět rozhodnutí a měnit své chování (Matthews a kol., 2007).
- modely SLUDGE, SprawlSim

5. Kombinace modelů

Fuzzy-CA modely

- **výstupy** z fuzzy logiky jsou použity jako **vstupní parametry pro přechodová pravidla**, nutná při aplikaci CA
- pomocí fuzzy pravidel je určen vývojový potenciál každého pixelu
- výsledná fuzzy funkce je pomocí metody **Centre of area** konvertována na jednu určitou hodnotu
- představuje minimální počet sousedních pixelů, které jsou nutné k tomu, aby se testovaný pixel přeměnil na pixel s jiným stavem
- Al-Kheder a kol., 2008

ANN-CA

- využívají neuronové sítě k v**ytvoření pravděpodobnostních map**, které pak slouží jako vstup do CA
- vstupní vrstvou jsou mapy **změny vyžití krajiny** a příslušné **fyzickogeografické a infrastrukturní faktory** (vzdálenost od vodních toků, komerčních zón, obytných zón)
- DINAMICA
- Li a Yeh (2002), Almeida a kol. (2008)

Markovovy-CA modely

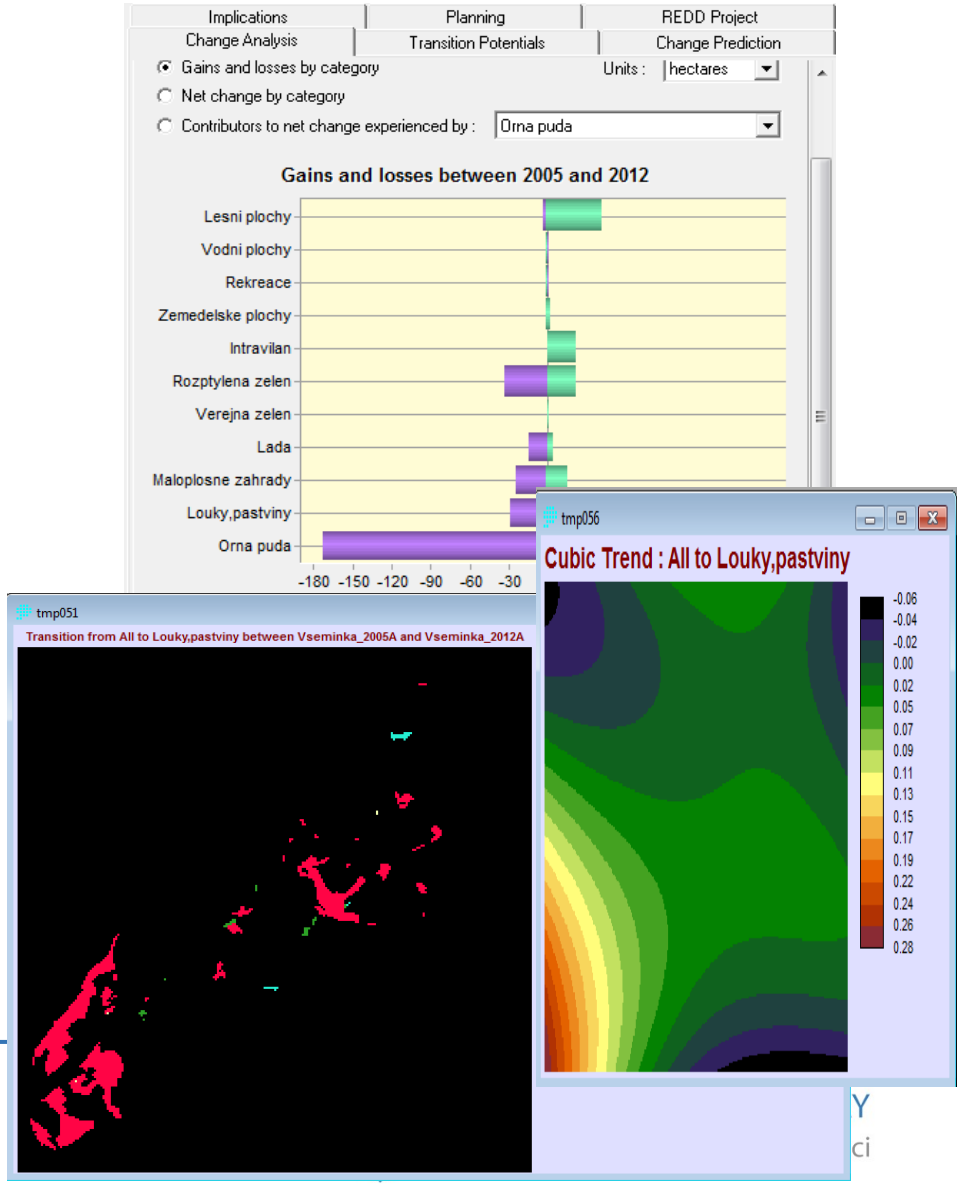
- kombinace metod CA a Markovových řetězců
- algoritmus svým pojetím obohacuje prováděnou analýzu o prvek prostorové spojitosti a znalostní bázi pravděpodobné prostorové distribuce krajinných změn
- pravděpodobnost, že se stav jedné buňky změní, je určena jednak **z původního stavu** buňky, ale také **okolními buňkami a maticí přechodu**, která obsahuje jednotlivé pravděpodobnosti změny jednoho stavu na druhý (Koomen a kol., 2007).
- CA_MARKOV @ IDRISI
- Eastmen a kol. 2003, Pechanec, 2006, Henríquéz a kol., 2006, Araya a Cabral 2010, Zhang a kol., 2011, Pechanec a kol, 2011

LCM (Land Change Modeler)

- integrované programové prostředí pro analýzu změn krajiny, projektování a odhady dopadů na populace a na biodiverzitu
- dostupný v software IDRISI, obsahuje několik přístupů
- při modelování potenciálu každého pixelu k dané změně je možné použít jak logistickou regresi, tak MLP neuronovou síť
- pro standardizaci faktorů je používána fuzzy logika
- pro predikci budoucího vývoje pracuje s Markovovými řetězci
- **A. Analýza změn** - hodnocení změn v krajině za pomoci grafických a mapových ukazatelů
  - založena na trendové analýze

Vstupní data pro LCM

- Vstupními daty jsou dva rastry využití území
- Rastr dřívějšího a pozdějšího data
- Další povinný vstup jsou rastry DMR a silniční sítě
- Rastry jsou v prvním kroku analyzovány
- Model LCM zjistí všechny změny v území
- Změny ve využití území představují přechody kategorií (např. orná půda na lesní plochy)



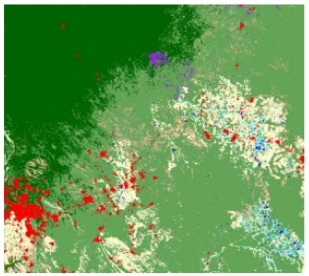
B. Modelování změn

- dovoluje seskupovat identifikované změny do submodelů a analyzovat jejich potenciál
- **statické komponenty**
  - proměnné, které jsou v čase neměnné
  - vyjadřují základní aspekty přiměřenosti změn
- **dynamické komponenty**
  - proměnné, které jsou časově závislé
  - vyjadřují stav vývoje (rozvoje) nebo infrastruktury
  - přepočítávány na základě směrů predikce (vzdálenost od stávající infrastruktury)

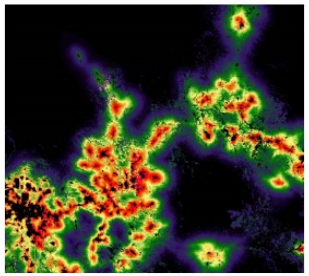
- Stanovení proměnných pro modelování
- Rozdělení změn do souboru sub-modelů
- Po stanovení proměnných následuje modelování
  - logistická regrese – každý typ změny zvlášť
  - rozšířený modul neuronové sítě MLP (Multi-Layer Perceptron) – pokud je hybná síla změn stejná, lze je modelovat dohromady
  - Proměnné nesmí být kategorické, je třeba je převést na booleovské soubory nebo je transformovat
  - Testování proměnných

C. Predikce změn

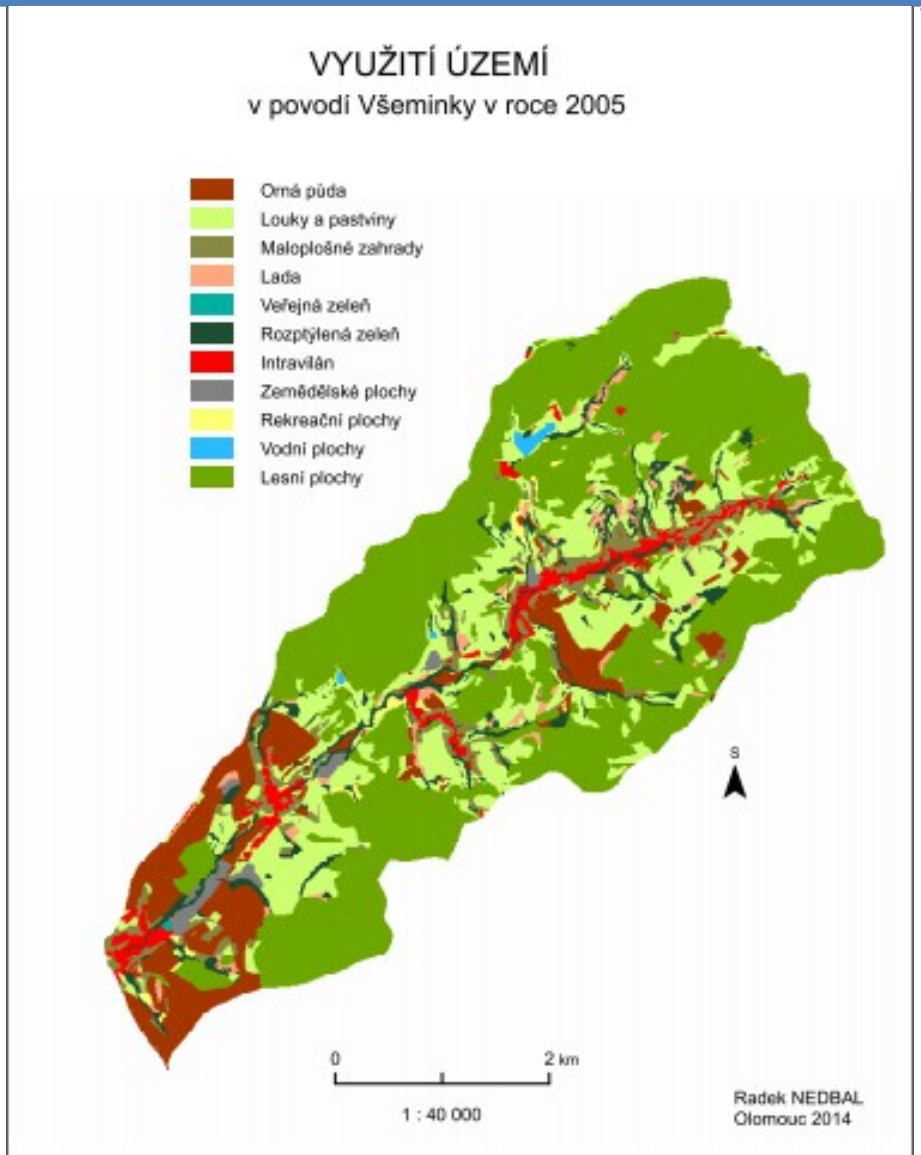
- modelování ve smyslu předpovídání změn (k určitému datu)
- umožňuje zasahovat do predikce procesů (zadání konečného data, způsob predikce)
- zahrnutí plánovaných zásahů, rozvoj a zábran, infrastruktury
- možno specifikovat počet dynamických změn a jejich intenzitu a systém kontroluje plánované zásahy, omezení a vývoj infrastruktury
- **hard prediction** – Markovovy řetězce - výsledkem je 1 mapa, nejlepší odhad z mnoha pravděpodobných řešení
- **soft prediction** - pravděpodobnostní matice na základě externího modelu – kontinuální mapování náchylnosti ke změně – sada map

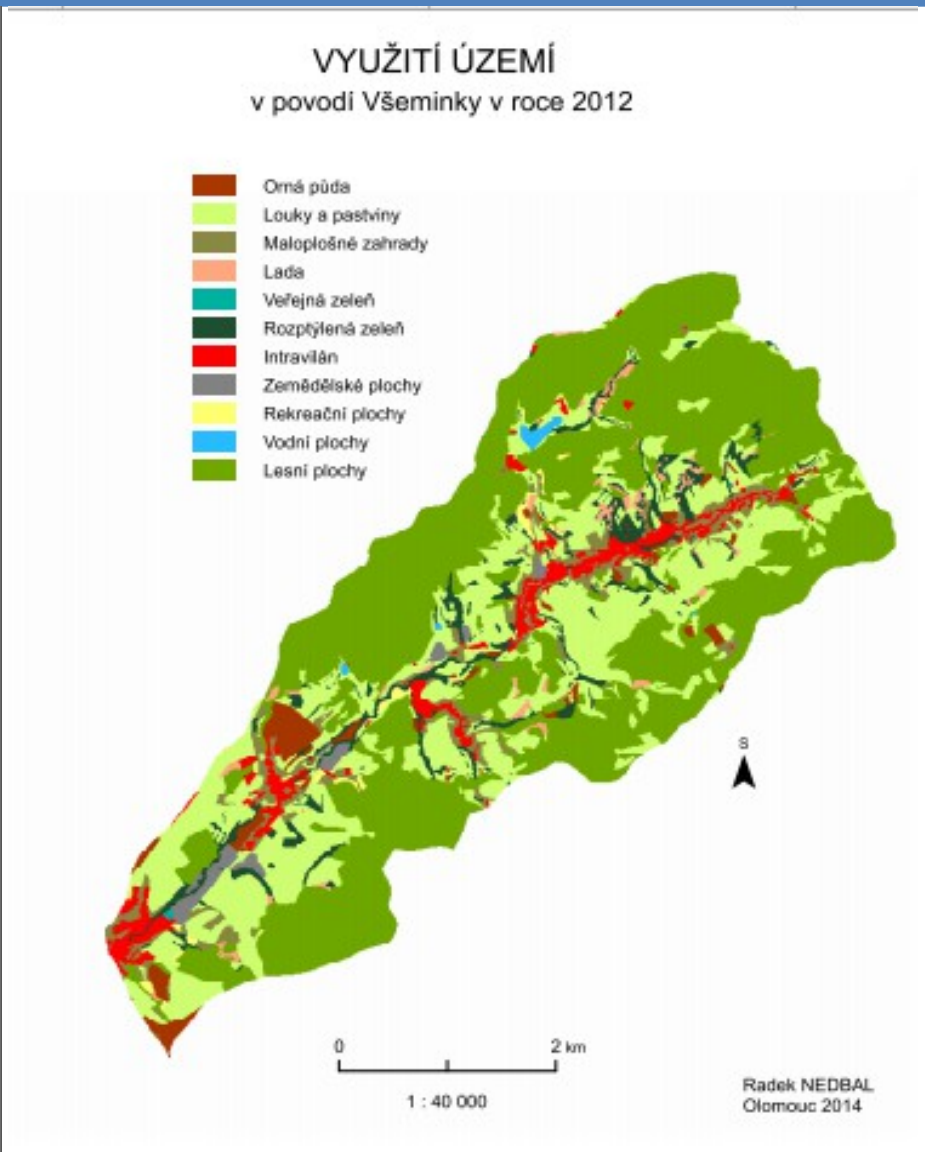


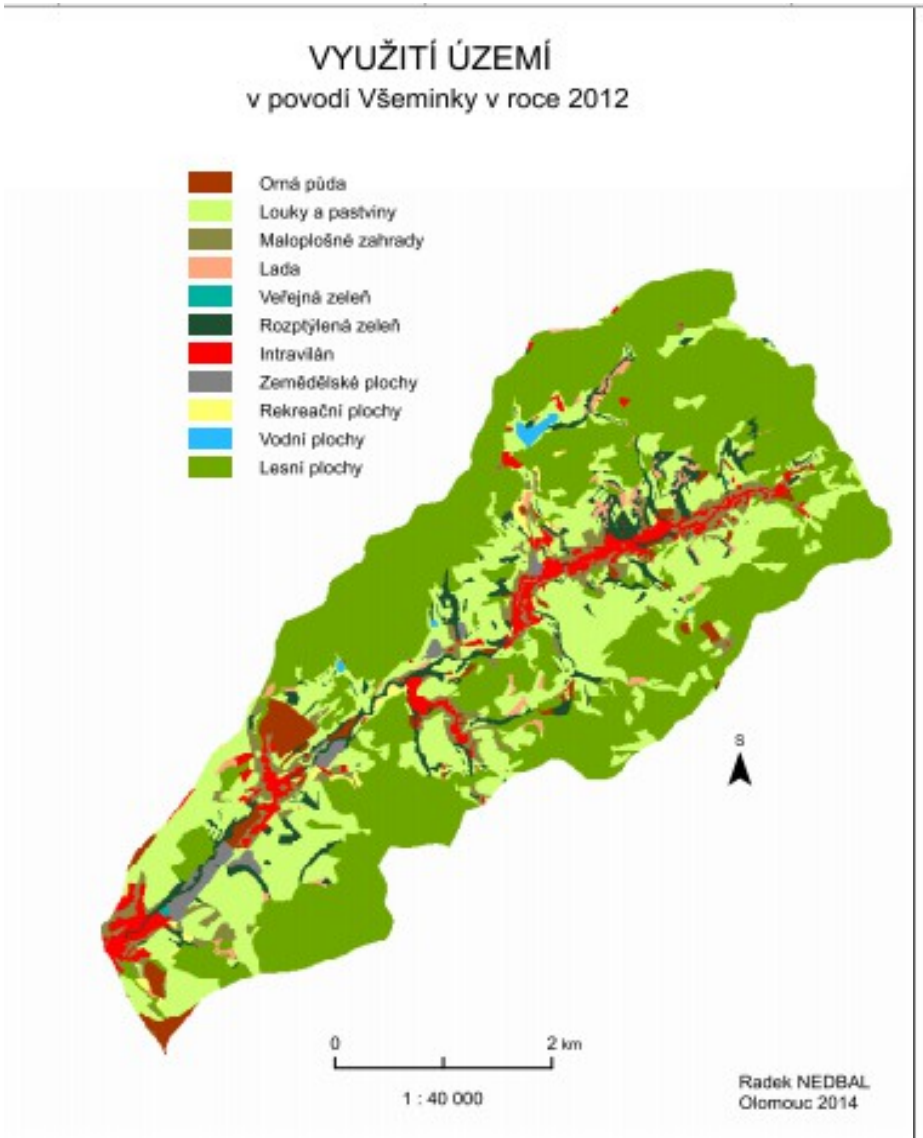
Hard Prediction Model

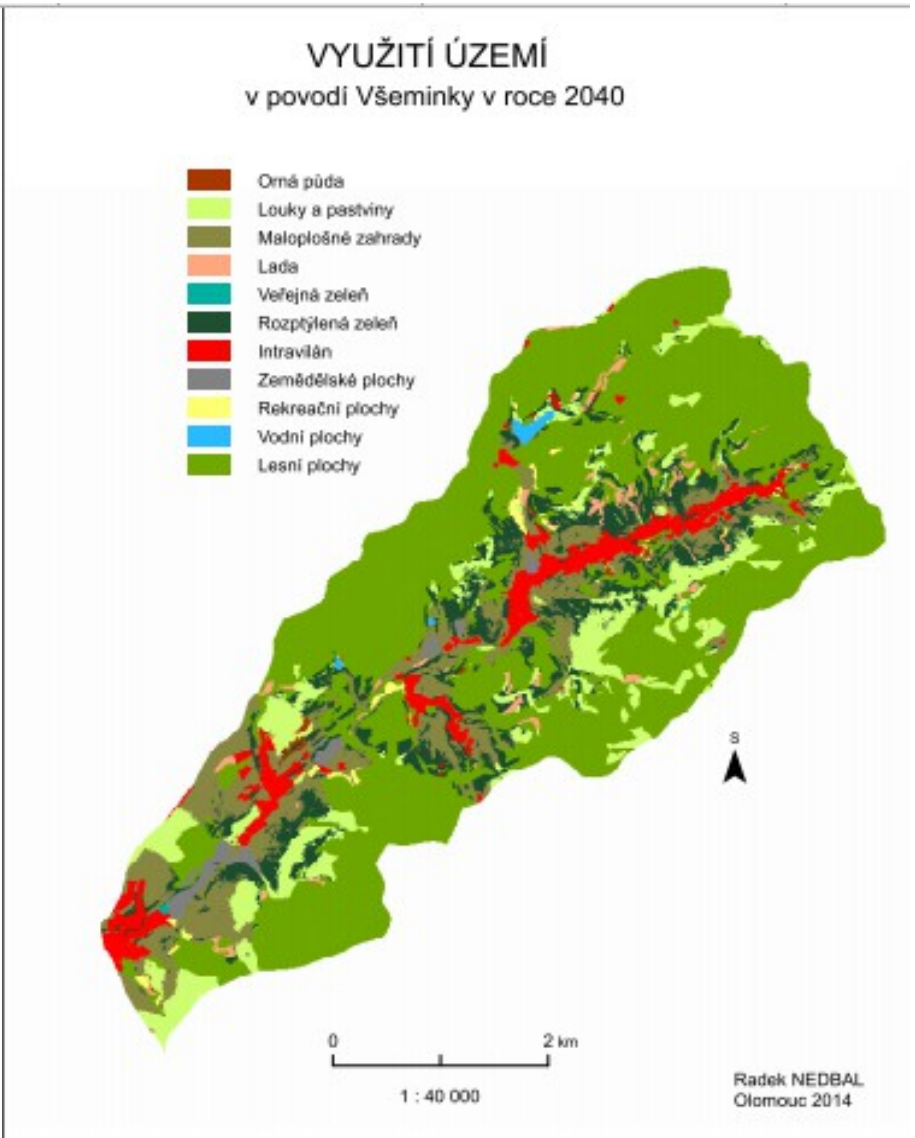


Soft Prediction Model


VYUŽITÍ ÚZEMÍ
v povodí Všeminky v roce 2005
Orná půda
Louky a pastviny
Maloplošné zahrady
Lada
Veřejná zeleň
Rozptýlená zeleň
Intravilán
Zemědělské plochy
Rekreační plochy
Vodní plochy
Lesní plochy
S
0
2 km
1 : 40 000
Radek NEDBAL
Olomouc 2014


VYUŽITÍ ÚZEMÍ
v povodí Všeminky v roce 2012
Orná půda
Louky a pastviny
Maloplošné zahrady
Lada
Veřejná zeleň
Rozptýlená zeleň
Intravilán
Zemědělské plochy
Rekreační plochy
Vodní plochy
Lesní plochy
S
0
2 km
1 : 40 000
Radek NEDBAL
Olomouc 2014


VYUŽITÍ ÚZEMÍ
v povodí Všeminky v roce 2012
Orná půda
Louky a pastviny
Maloplošné zahrady
Lada
Veřejná zeleň
Rozptýlená zeleň
Intravilán
Zemědělské plochy
Rekreační plochy
Vodní plochy
Lesní plochy
S
0
2 km
1 : 40 000
Radek NEDBAL
Olomouc 2014


VYUŽITÍ ÚZEMÍ
v povodí Všeminky v roce 2040
Orná půda
Louky a pastviny
Maloplošné zahrady
Lada
Veřejná zeleň
Rozptýlená zeleň
Intravilán
Zemědělské plochy
Rekreační plochy
Vodní plochy
Lesní plochy
S
0
2 km
1 : 40 000
Radek NEDBAL
Olomouc 2014

Děkuji za pozornost!

doc. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.

Univerzita Palackého v Olomouci

Katedra geoinformatiky, Př F

17. listopadu 50

771 46 Olomouc

URL: http://www.geoinformatics.upol.cz

e-mail: vilem.pechanec@upol.cz