

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	8
KAPITOLA 1 Úvod a cíle práce	9
1.1 Úvod.....	9
KAPITOLA 2 Úvod do modelování	10
2.1 Základní pojmy.....	10
2.2 Historie modelování zástavby.....	12
2.3 Použití scénářů.....	13
KAPITOLA 3 Přehled metod a klasifikace modelů	15
3.1 Cellular automata (CA).....	15
3.1.1 Multi-Criteria Evaluation.....	17
3.1.2 Fuzzy logika.....	18
3.2 Statistické metody.....	19
3.2.1 Markovovy řetězce.....	20
3.2.2 Logistická regrese.....	20
3.3 Neuronové sítě.....	21
3.4 Modelování pomocí agentů.....	23
3.5 Ostatní modely.....	24
KAPITOLA 4 Land Change Modeler a model Dyna-CLUE	27
4.1 Land Change Modeler.....	27
4.2 Dyna-CLUE.....	31
KAPITOLA 5 Metodika	36
5.1 Charakteristika zájmové oblasti.....	36
5.2 Použitá data a metody jejich zpracování.....	39
5.3 LAND CHANGE MODELER (LCM).....	42
5.3.1 Analýza změn.....	42
5.3.2 Potenciál přeměny.....	43
5.3.3 Plánování.....	45
5.3.4 Predikce změn.....	46
5.4 DYNA-CLUE.....	47
5.4.1 Hlavní parametry.....	47
5.4.2 Logistická regrese.....	49
5.4.3 Požadavky na využití území (Land use requirements).....	50

5.4.4 Oblasti určené k simulaci	50
5.4.5 Matice přechodu.....	51
5.4.6 Speciální požadavky na rozvoj území.....	52
5.4.7 Výpočet pravděpodobnostních map	53
5.4.8 Použití modelu	53
KAPITOLA 6 Výsledky a jejich hodnocení.....	55
6.1 Vedlejší produkty simulace v LCM	55
6.1.1 Změny krajinného pokryvu mezi lety 1994 a 2007.....	55
6.1.2 Mapy potenciálu.....	56
6.2 Vedlejší produkty simulace v Dyna-CLUE	58
6.2.1 Výsledky logistické regrese	58
6.2.2 Pravděpodobnostní mapy	59
6.1 Porovnání výsledků modelování v LCM a Dyna-CLUE	60
6.2 Hodnocení přesnosti.....	62
6.2.1 Zákaz výstavby.....	62
6.2.2 Preferovaný rozvoj výstavby.....	63
6.2.3 Přeměna rozestavěných ploch na zemědělskou půdu	65
6.3 Srovnání modelů	66
KAPITOLA 7 Diskuze.....	69
KAPITOLA 8 Závěr	74
SEZNAM ZDROJŮ A INFORMACÍ	76
SEZNAM PŘÍLOH.....	Chyba! Záložka není definována.
PŘÍLOHY	83

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Funkce příslušnosti – linerání, S-funkce, J-funkce	19
Obr. 2 Schéma neuronové sítě	10
Obr. 3 Schéma modelovacího procesu za pomoci LCM, kroky 1, 2, 3 a 5.....	12
Obr. 4 Neprostorová a prostorová analýza.....	13
Obr. 5 Zjednodušená matice přechodu.....	15
Obr. 6 Diagram alokačního procesu Dyna-CLUE	19
Obr. 7 Zájmové území	21
Obr. 8 Vývoj zájmového území 1994-2007.....	23
Obr. 9 Vzdálenost od rezidenčních ploch, Sklonitost	24
Obr. 10 Sub-modely použité v LCM.....	27
Obr. 11 Plánování, sub-model Rezidenční výstavba.....	31
Obr. 12 Předpokládaná rezidenční a komerční výstavba	36
Obr. 13 Uživatelské rozhraní Dyna-CLUE, iterační proces.....	39
Obr. 14 Nárůst a ztráta ve všech kategoriích	42
Obr. 15 Změny na úkor kategorie zemědělská půda.....	47
Obr. 16 RMS křivka pro sub-model REzidenční zástavba	55
Obr. 17 Potenciál přeměny ze zemědělské půdy na rezidenční zástavbu	55
Obr. 18 ROC křivka pro kategorii rezidenční a komerční zástavba	59
Obr. 19 Pravděpodobnostní mapy.....	62
Obr. 20 Výsledek modelování – stav 2020, Dyna-LCUE, LCM	66
Obr. 21 Oblasti s novou výstavbou, Dyna-CLUE, LCM.....	55
Obr. 22 Rozšíření rezidenční zástavby, Dyna-CLUE, LCM.....	64
Tab. 1 ROC analýza	32
Tab. 2 Základní údaje o obcích.....	37
Tab. 3 Použité faktory v sub-modelech.....	43
Tab. 4 Matice přechodu, pravděpodobnost přeměny	46
Tab. 5 Dyna-CLUE, Hlavní parametry	47
Tab. 6 Matice přechodu	51
Tab. 7 Cramerovy koeficienty jednotlivých faktorů.....	56
Tab. 8 Míra přesnosti, MLP	57
Tab. 9 Výsledky logistické regrese	58
Tab. 10 Vývoj krajinného pokryvu 1994- 2020.....	60

KAPITOLA 1

Úvod a cíle práce

1.1 Úvod

Změny v krajině jsou výsledkem mnoha vzájemně se ovlivňujících faktorů, kdy mezi ty nejvýznamnější patří lidské aktivity. Právě použitím predikčního modelování jsme schopni nastínit budoucí obraz stavu/využití krajiny, ale i odhalit dynamiku těchto změn.

Hlavním úkolem této práce je s využitím možností dvou vybraných predikčních programů sledovat změny využití krajiny v suburbánním rozvoji v zázemí hl. města Prahy a predikovat vývoj v modelovém území.

Důležitou součástí této práce je její teoretická část v první polovině. Tato část vychází z literární rešerše autorů, zabývajících se podobnou problematikou. Nejprve jsou definovány a vysvětleny některé základní pojmy, které přímo či nepřímo souvisejí s modelováním zástavby a jejichž znalost je nezbytná pro pochopení dalšího textu. Dále jsou uvedeny jednotlivé metodiky a algoritmy, které se při modelování používají. Výsledkem tohoto literárního přehledu je ucelená charakteristika a seřídění dostupných modelů vhodných pro studium této problematiky.

Jelikož při práci byly použity dva konkrétní modely, a to Dyna-CLUE a Land Change Modeler (dále jen LCM), je právě jim věnována v práci větší pozornost.

V navazující analytické části je pak popsán samotný průběh práce s daty a s uvedenými modely. Závěrečné kapitoly se pak zabývají dosaženými výsledky, jejich porovnáním a hodnocením.

Cílem práce je porovnat možnosti programu Dyna-CLUE a LCM pro predikční modelování suburbánního rozvoje modelového území v zázemí Prahy, na základě časové řady dat land cover získaných klasifikací družicových dat velmi vysokého rozlišení (letecké snímky a data družice QuickBird). Dílčí cíle jsou následující:

- Shromáždění dostupných zdrojů dat, která vývoj ovlivňují, jejich zpracování do formátu použitelného pro modely a jejich využití v modelech.
- Simulace vývoje krajinného pokryvu do roku 2020 v obou programech
- Porovnání výsledků a přesnosti výstupů

KAPITOLA 2

Úvod do modelování

2.1 Základní pojmy

Pokud v oblasti geografie pracujeme s výrazem modelování, nevyhneme se několika dalším pojmům, které jsou s tímto výrazem spojeny. Použité pojmy jsou v následující kapitole stručně vysvětleny.

Pojem modelování má v geografii široké využití. Obvykle se jedná o sledování budoucího vývoje určitého stavu nebo situace. V této práci je modelování spojeno s výrazy „*land use*“ nebo „*land cover*“, do češtiny přeloženo jako využití půdy a krajinný pokryv. Význam těchto termínů je rozdílný a nelze je zaměňovat. *Krajinný pokryv* (land cover) představuje reálnou situaci v krajině, *využití půdy* (land use) je úředně evidovaný druh pozemku či kultura v geodetických a katastrálních údajích (Guth a Kučera, 1997).

Jiné zdroje ovšem nabízejí i jiné definice. Dle Geoportálu ČÚZK (Český úřad zeměměřičský a katastrální, <http://geoportal.cuzk.cz>, 2012) je definice *krajinného pokryvu* tato: Jedná se o fyzický a biologický pokryv zemského povrchu, včetně uměle vytvořených ploch, zemědělských oblastí, lesů, přirozených a částečně přirozených oblastí, mokřadů, vodních těles.

Lambin a Geist ve své knize *Land-Use and Land-Cover Change* (2006) definují land cover jako viditelný povrch planety Země, zahrnující biotu, půdy, vodní plochy, topografii a zastavěné plochy. Land use pak jako způsob, kterým se land cover využívá.

K pochopení rozdílů je možné uvést i následující rovnici (Vachuda, 2010):

$$\text{Land use} = \text{land cover} + \text{land utilization}$$

S výše uvedenými pojmy souvisí slovní spojení „land use and land cover change - LUCC“, někdy také jen „land change“ (*změna ve využívání krajiny*) což je obecný termín pro člověkem provedené změny na povrchu Země (www.eoearth.org., 2011).

Přestože člověk mění krajinu již od nepaměti, za poslední století se intenzita těchto změn velmi zvýšila. Porozumění LUCC je důležité jak z hlediska vědeckého, tak z hlediska politického (Liu a kol., 2009) a jelikož je žádoucí odhalit a pokusit se vysvětlit mechanismy, které tyto změny ovlivňují a předikovat budoucí vývoj, je v posledních desetiletích termín *modelování* velmi aktuální.

Modelování zahrnuje uměle vytvořenou reprezentaci vzájemného působení sil v systému land use za účelem nalezení jeho dynamiky a možného budoucího vývoje. Jedná se o jednu z dostupných metod a přístupů schopných rozluštit dynamiku tohoto systému (Lambin a Geist, 2006). Batty (2009) definuje modelování jako proces hledání a identifikace vhodné teorie, jejíž přepis do nejčastěji matematického modelu, vývoj odpovídajícího počítačového programu a následnou práci s daty, zahrnující kalibraci a verifikaci modelu a jeho použití pro predikci. Pod pojmem modelování si tedy lze představit proces odhalování změn, vyskytujících se v oblasti za určitý časový horizont, analýzu jejich zákonitostí a vytváření jejího budoucího obrazu.

Práce je zaměřena na predikční modelování v oblasti rozšiřování zástavby, konkrétně na rozšiřování zástavby v okolí velkoměsta. Proto je dále třeba zmínit pojem *suburbanizace*. Suburbanizací rozumíme přesun obyvatel, jejich aktivit a některých funkcí z jádrového města do zázemí (Ouředníček, 200?). Právě díky suburbanizaci se setkáváme s rozvojem obcí v zázemí Prahy. Tyto nové oblasti jsou označovány jako satelitní městečka, neboli suburbia (předměstí). Toto označení pochází z 90. let 20. století, kdy se tato forma suburbanizace začíná na našem území rozvíjet. Suburbanizaci je možné rozdělit na dva typy. *Suburbanizace rezidenční* je spojena s rozvojem obytných zón v zázemí města. Jedná se o proces, při kterém dochází k postupnému stěhování lidí do nových domů v okolních obcích (Ouředníček, in press). Druhým typem je *suburbanizace komerční*, kdy dochází k přesunu komerčních aktivit (obchod, administrativa, skladování, atd...) do zázemí měst (Fousková, 2010, suburbanizace.cz). Komerční zástavba a průmyslové parky jsou především budovány podél hlavních dopravních tahů nebo v blízkosti jejich křižovatek (Sýkora, 2003).

S ohledem na zadání práce se nyní zaměřím přímo na *modelování zástavby*. Jedním z autorů, studující modelování zástavby je již citovaný Batty. Ve své knize „Urban Modelling – Algorithms, Calibrations, Predictions“, (1976) označuje modelování zástavby za „obor, zabývající se navrhováním, vytvářením a spravováním matematických modelů zástavby, obvykle měst a regionů.“ Samotná definice modelování zástavby se však nemůže nijak lišit od obecné definice modelování uvedené výše. Pro bližší specifikaci daného oboru se stačí v takové definici omezit pouze na zastavěné oblasti krajiny.

Jak vyplývá z předchozího textu, modelování samo o sobě se neobejde bez *modelů*¹. Verburg a kol. (2004) označují modely jako nástroje umožňující analýzu příčin a následků změn krajiny, za účelem lepšího porozumění fungování land use a následného vytváření územní strategie či územního plánu. Modely zaměřené na zástavbu jsou souborem funkcí a procesů generující zastavěný prostor. Obvykle jsou reprezentovány počítačovým programem pracujícím s daty

¹ V anglicky psané literatuře se setkáváme s pojmem „land use models, land use change models, models of land use change, popř. urban models“ apod. V práci je pro všechny tyto výrazy využit zkrácený český překlad „model“.

krajinného pokryvu, obyvatelstva, zaměstnaností, transportu a dalšími daty, umožňující mimo jiné generovat budoucí vývoj na základě určitých schémat (Batty, 2009).

V posledních desetiletích vzniklo mnoho nejrůznějších modelů, ať už vhodných k modelování krajinného pokryvu nebo přímo určené na modelování zástavby či jiného konkrétního druhu krajinného pokryvu. Blíže se modely a jejich specifikacemi zabývá kapitola 3.

2.2 Historie modelování zástavby

Informace o rané historii modelování zástavby, uvedené v několika prvních odstavcích této kapitoly, vycházejí především z knih *Operational urban models* (Foot, 1981) a *Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation* (Batty, 1989).

Je zřejmé, že teprve až s příchodem počítačů a elektroniky můžeme začít uvažovat o pravém modelování zástavby, či modelování vývoje krajiny obecně. Avšak i před dobou počítačů je možné nalézt odborné práce týkající se analýz krajiny. Např. Reillyho gravitační model z 30. let 20. st. zabývající se problematikou maloobchodu v okrajových částech měst. O několik let později se objevují i studie navrhuující dokonce jeho budoucí umístění, vypracované autory jako Christaller („Central place Theory“, 1933) a Losh, který Christallerovu práci později rozšířil. V oboru geografie dopravy jsou tyto práce považovány za jedny z klíčových.

Vzhledem k narůstající automobilové dopravě mezi lety 1940 a 1950, která velmi rychle měnila tradiční chod měst, bylo nutné přijít s novými studiemi, které by našly řešení tohoto nového a doposud neznámého fenomenu. Byly tak položeny základy dopravního plánování. S příchodem počítačů po roce 1945 se tato práce značně zjednodušuje. První generací byly modely vytvořené ve Spojených státech, především mezi lety 1959-1968. Právě tyto modely se zabývaly řešením nově vzniklých dopravních problémů. Označují se pojmem Land-Use Transport (LUT) Models, a největšího vrcholu dosáhly právě v 60. letech. Zaměřují se mimo jiné na vývoj prostorového rozmístění obyvatel a pracovních míst ve městech. Jako příklad můžeme uvést např. *The Chicago Area Transportation Study-CATS* (1955-1962), *Lowry model* a *Pittsburgh model*² (Lowry, 1964), jeho rozšíření v podobě *Pittsburgh Time-Oriented Metropolitan Model*² (TOMM, Crecine, 1964) a *Projective Land Use Model*² (PLUM, Golder, 1968).

Během 70. let se modelování zástavby rozšířilo i do dalších zemí, přestože v USA, co se modelování týče, převažovaly v této době hlavně negativní ohlasy. Mnoho modelů bylo velmi kritizováno, jako např. *Robinsonův San Francisco Housing Market Model*² (Robinson, 1965). Důvodem byl především nedostatek dostupných dat, výkonnost počítačů, čas a finanční

² Za názvy modelů jsou uvedeni jejich autoři

náročnost. Na přelomu 70. a 80. let se však situace změnila. Pack a Pack (1977) poukazují na to, že agentury územního plánování tyto modely již používají a shledávají je velmi užitečnými při vytváření nejrůznějších analýz.

Avšak používání pouze tradičních matematických přístupů brzy nestačilo k zachycení dynamiky, se kterou se zastavěná území rozvíjí. Jedním ze zásadních kroků vedoucích ke změnám v modelování byl vývoj metody známé pod anglickým názvem „Cellular automata“ (dále jen CA). Tuto metodu navrhl J. von Neumann v roce 1966 a poprvé ji použil Tobler v roce 1979 (Henríquez a kol., 2006), který ji přenesl do oboru geografie a následně ji implementoval do geoinformačních systémů (dále GIS). Právě integrace GIS a modelování, ke které došlo během 80. let, umožnila nový pohled na modelování zástavby i na modelování celého krajinného pokryvu. GIS poskytly nejen nové prostředí a platformy pro práci s daty, ale i díky lepší vizualizaci a transparentnosti v podobě např. map bylo možné s dosaženými výsledky seznámit širší skupinu uživatelů (Sui, 1998).

Od té doby vzniklo mnoho studií zabývajících se modelováním za použití CA nebo jiných metod, jako jsou např. Neuronové sítě, Markovovy řetězce aj. Více o těchto metodách pojednává kapitola 3.

2.3 Použití scénářů

V některých studiích, zabývajících se vývojem krajiny a její predikcí do budoucna, se setkáváme s tzv. scénáři vývoje. Pomocí základního tvrzení „Když..., potom“ je možné vytvořit několik variant, jakým směrem se bude vývoj zkoumaného území ubírat. Při používání scénářů je nutné pracovat s tzv. „driving forces“. Ty pak specifikují určité podmínky, za kterých modelování probíhá. Nejčastěji se setkáváme s demografickými změnami (rychlejší či pomalejší růst počtu obyvatel, počet obyvatel žijících ve městě a na vesnici,...), ekonomickým růstem (HDP, ceny potravin, velikost jednotek – farmy, obydlí,...), technologickým a biofyzickým vývojem (výnosy, dostupnost, podnebí, topografie) ...atd.

Výstupy z takového modelování jsou pak rozděleny do několika skupin. Zatímco např. scénář A ukazuje vývoj studované oblasti, pokud zde bude docházet k nárůstu obyvatel a k rozvoji infrastruktury, scénář B počítá spíše s ochranou krajiny a úbytkem obyvatel. Tyto výstupy je možné prezentovat jak kvalitativně, tak kvantitativně (Alcamo a kol., 2006). Zatímco kvalitativní scénáře popisují výsledky spíše slovy, kvantitativní se zaměřují na prezentaci v podobě tabulek, grafů či map. V mnoha případech jsou ovšem využívány oba přístupy.

Scénáře je možné aplikovat jak na globální, tak i na regionální a lokální úrovni. Např. UNEP (United Nations Environment Programme) se zabývá globálním projektem s názvem GEO (Global environment outlook, <http://www.unep.org/geo>). Mezi evropskými projekty je možné

uvést projekt EURURALIS (<http://www.eururalis.eu>), jehož cílem je analyzovat potenciální změny land use-land cover v Evropě. Pro modelování byl použit model CLUE-S se čtyřmi scénáři možného vývoje. Na regionální a lokální úrovni byl pak použit model SLEUTH, a aplikacemi scénářů v Nizozemsku nebo v Anglii (Alcamo a kol., 2006).

KAPITOLA 3

Přehled metod a klasifikace modelů

Během posledních desetiletí bylo vytvořeno nespočet nejrůznějších modelů. Jejich různorodost spočívající především v přístupech a metodách modelování přesvědčila již několik autorů, aby se pokusili o jejich klasifikaci a roztřídění (např. Lambin a kol., 2000, Brown a kol., 2004, Agarwal a kol., 2001, Verburg a kol., 2004 a mnoho dalších). Ale právě široké spektrum možností, jak tuto kategorizaci provést, vede k několika různým klasifikacím. Modely lze totiž rozdělit podle několika kritérií. Může to být například typ krajinného pokryvu, pro který je model vytvořen, teorie, na které je model založen, cíle modelu (analýza, predikce...), doporučené měřítko studovaného území nebo technický přístup či algoritmus, který model využívá.

Brown a kol. (2004) např. dělí modely na statické (LUT-models) a dynamické (např. CA) nebo na prostorové a neprostorové (bez prostorové distribuce – pouze rychlost a rozsah změněného krajinného pokryvu, např. model SALU, jehož autory jsou Stephenne a Lambin, (2001)).

V této práci jsou jednotlivé modely klasifikovány podle hlavních metod, které využívají. Metody jsou nejprve popsány a dále je u každé uveden příklad konkrétního modelu, který s popisovanou metodou pracuje.

3.1 Cellular automata (CA)

Cellular automata, česky celulární automaty (dále jen CA) lze určitě považovat za jednu z neznámějších a nejpoužívanějších metod, vyskytujících se v oboru modelování (ať už modelování zástavby či modelování celkového krajinného pokryvu). To je dáno především její flexibilitou, poměrně jednoduchou aplikací a jejím vztahem k DPZ a GIS.

Myšlenka CA není ani nijak nová. CA byly vyvinuty fyzikem Ulamem ve 40. letech dvacátého století a v roce 1966 je použil Neumann k výzkumu sebe-reprodukcujících se systémů (White a Engelen, 1993). Základní myšlenkou bylo pokusit se vytvořit prostor, který je rozdělený na jednotlivé buňky (cells). Každá buňka je v tomto prostoru charakterizována počátečním stavem, který se dle určitého vývojového pravidla po jednotlivých krocích (iteracích) mění. O další výzkum se pak zasloužil Conway s CA nazvaným Hra života („Game of Life“, 1970) a Wolfram (1983, 1984), který ukázal, že tyto zdánlivě jednoduché metody mohou generovat velmi složité komplexní struktury. Od té doby byly CA použity v mnoha disciplínách a oborech zabývajících se vývojem určitých struktur (White a Engelen, 1993).

Protože CA jsou pro geografické obory díky své prostorové podstatě velmi atraktivní, v roce 1979 je Tobler implementoval také do geografického modelování. Witten a Sander v 80. letech vyvinuli CA velmi podobný model DLA (Diffusion limited aggregation). Byl určen k modelování růstu zastavěných území. Jediným rozdílem bylo, že v tomto modelu byly možné pouze dva stavy buněk, a to „volné“ a „obsazené“. Pouze ty volné buňky, které se nacházejí v blízkosti obsazených, mohou změnit svůj stav. Touto metodou se pak ve své studii zabývá i Batty a Longley (1989).

Základní princip CA metody je velmi jednoduchý. Wolfram (1984) uvádí, že CA je matematicky odvozená metoda schopná imitovat proces odehrávající se v prostoru na základě jednoduchých rozhodovacích, přechodových pravidel. Jedná se o diskrétní a dynamický proces. Buňky jsou organizovány v pravidelném prostoru (grid, array) a každá buňka může být reprezentována jedním z konečně mnoha stavů (diskrétní množina). Tyto stavy jsou aktualizovány po každém časovém kroku. Budoucí stav buňky závisí na přechodových pravidlech a na stavech nebo funkcích buněk okolních. Pomocí rozhodovacích pravidel je pak simulován šířící se proces, jeho intenzita a směr. Základní metoda CA je složena ze čtyř komponent (Rafiee a kol., 2008).

- Prostor buněk, v našem případě rastr složený z pixelů
- Počet konečných stavů, jenž reprezentují stav každé buňky
- Okolí
- Přechodové funkce, které definují následující stav každé buňky v příštím časovém okamžiku. Budoucí stav je založen na stavu předchozím a na stavu okolních buněk.

Matematicky lze základní CA popsat následovně (Wu a Webster, 1998):

$$S_{ij}^{t+1} = f(S_{ij}^t, \Omega_{ij}^t, T^t),$$

kde S je množina možných stavů buňky na místě ij , Ω je situace v okolí této buňky, T je množina přechodových pravidel a f je přechodová funkce definující změny ze stavu t do stavu $t+1$.

Co se týče predikce růstu zástavby, White a Engelen (1993) použili pro predikci touto metodou již na počátku 90. let. Od té doby byla již tato metoda použita v mnoha studiích, např. Engelen a kol. (1995), Clarke a kol. (1997) a další. Postupně byla také tato metoda vylepšována a rozšiřována. Např. Li a Yeh (2000) vytvořili model nazvaný „Constrained Cellular Automata Model“, který byl založen na vhodnosti volné krajiny přeměnit se v krajinu zastavěnou. Jde o model, který bere v úvahu, zda a na jakém místě je vhodné plánovat rozvoj města. Hlavní

myšlenkou bylo zahrnout do CA modelu určitá omezení (zástavba nemůže vzniknout na místě řeky či již na předchozí zástavbě...).

Jedním z nejznámějších modelů, fungujících na bázi CA je SLEUTH model (Clarke a kol., 1997), formálně nazvaný „Clarke Cellular Automaton Urban Growth Model“. Jeho název je odvozený od základních vstupních dat potřebných pro jeho použití. Jsou to „Slope, Land Use, Exclusion zone, Urban, Transportation a Hillshade“ (Rafiee a kol., 2009). Vrstva silnic může obsahovat silnice několika tříd, stejně tak vrstva Exclusion může zahrnovat nejrůznější místa, určená uživatelem, která jsou pro zástavbu více či méně vhodná. Model je schopný odhadnout čtyři případy rozrůstání zástavby, a to spontánní růst, růst z nového centra, růst ovlivněný silniční sítí a rozrůstání okrajových částí města (Silva a Clarke, 2001). I tento model byl aplikován v mnoha studiích (Rafiee a kol., 2009, Oguz a kol., 2007).

Jako další model, založený na CA, můžeme uvést LEAM – „Land use Evaluation and Impact Assessment Model“ (Sun a kol., 2005), který byl vyvinut pro městské plánování v regionálním měřítku, schopný simulovat změny land use v prostoru a čase (Rafiee a kol., 2009). Stejně jako předchozí model, i tento pracuje s omezeními, jak fyzickogeografickými, tak socioekonomickými.

Za zmínku stojí také model DUEM - Dynamic Urban Evolutionaty Modelling (Batty a kol., 1999), vyvinutý na konci 90. let, jehož autorem je Y. Xie, dále pak model DINAMICA, použitý při modelování růstu zástavby v Káthmándú (Thap a Murayama, 2010) nebo model METRONAMICA, použitý pro Jeddah City (Mohmand, 2011).

Jak již bylo řečeno, důležitou roli při používání CA, hrají tzv. přechodová pravidla. Je nutné poznamenat, že neexistuje standardní metoda, jak tato pravidla definovat (Al-Kheder, 2008). V následujících odstavcích bych ráda přiblížila alespoň dvě z nich. Jsou jimi MCE – Multi-Criteria Evaluation a fuzzy logika. První metoda byla použita např. ve studii od Wu a Webstera (1998), druhá pak v práci Al-Khedera a kol. (2008) nebo v modelu FCUGM (Al-Ahmadi a kol., 2008).

3.1.1 Multi-Criteria Evaluation

Metoda MCE je efektivní nástroj k řešení rozhodovacích procesů. V běžném životě se s kritérii setkáváme velmi často. Mohou jimi být např. cena, kvalita, spotřeba, dostupnost apod. Důležité je najít takové řešení, které je vzhledem k daným kritériím co nejvýhodnější. Co se modelování zástavby týče, příkladem může být situace, kdy je třeba nalézt území, vhodné k zastavění. Kritérii v tomto případě mohou být vzdálenost od silnic, sklon daného území, eroze či zákaz stavby na určitých místech. Kritéria mohou být dvojího druhu. A to omezení a faktory.

Zatímco faktory jsou většinou spojitého charakteru – např. zmíněný sklon a vzdálenost, omezení jsou vždy booleanovská, to znamená, že pracují pouze s dvěma hodnotami – *true* a *false*. Omezení slouží především k vyloučení nevhodných území. Typický rozhodovací problém s konečným počtem kritérií lze popsat následovně:

Mějme konečnou množinu možných kroků (akcí) A , obsahující prvky $a_j, j=1, \dots, n$.

Dále množinu G , obsahující kritéria $g_i, i=1, \dots, m$.

Pokud $g_i(a_1) > g_i(a_2)$, pak je krok a_1 vyhodnocen jako vhodnější (Wäger, 2007).

Je zřejmé, že může nastat situace, kdy je jedno z kritérií důležitější než druhé. Z tohoto důvodu se používají vážená kritéria, kdy kritérium s vyšší vahou je důležitější než kritérium s vahou nízkou. Součet jednotlivých vah musí být zřejmě jedna. Při používání MCE je právě určení těchto vah velmi důležité. V mnoha případech jsou tyto váhy určovány procesem známým jako Analytical Hierarchy Process (AHP)³, kdy jsou mezi sebou porovnávány dvojice všech faktorů a je tak postupně určen ten nejdůležitější. Porovnávání se provádí na každé úrovni, postupně od shora dolů, tedy od obecných kritérií po dílčí sub-kritéria (Zhang a kol., 2011).

3.1.2 Fuzzy logika

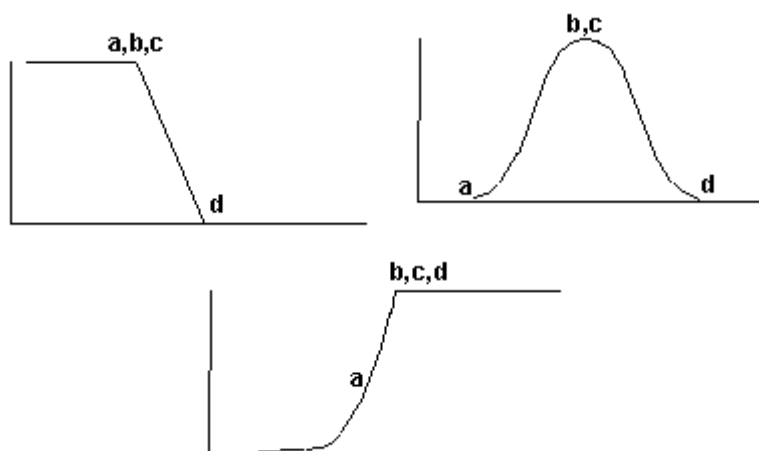
Zatímco jiné metody na určování přechodových pravidel pracují pouze s otázkou, zda se daný jev v místě vyskytuje či nevyskytuje (ostré množiny – *crisp sets*), teorie neostrých množin (*fuzzy sets theory*) počítá s určitým stupněm vývoje v dané oblasti.

Pro bližší vysvětlení vezměme dva pixely v čase t . První je z 80 % charakterizován jako zástavba, druhý pouze z 20 %. Je zřejmé, že aby tyto dva pixely byly i v čase $t+1$ charakterizovány jako zástavba, je nutné, aby okolí druhého pixelu bylo mnohem více urbanizované než okolí pixelu prvního.

Nespornou výhodou fuzzy logiky je fakt, že dokáže pracovat s nepřesnými nebo s vágními daty. Na místo klasického rozhodování „ano“, „ne“ je možné nyní pracovat i s hodnotami „mezi“, tedy s pojmy jako „trochu“, „hodně“, apod. Tato teorie tedy udává stupeň náležitosti prvku do určité množiny hodnotou v intervalu $[0,1]$ (Šmejda, 2003). Jako další příklad uvedu vzdálenost od silnic. Co přesně si máme představit pod pojmy daleko či blízko? Bez fuzzy logiky by toto vysvětlení bylo poměrně složité. Avšak použijeme-li matematickou funkci (funkce příslušnosti-„membership function“), jsme schopni vyjádřit i tyto mezilehlé hodnoty. Volba této funkce záleží na charakteru řešeného problému, ale mezi nejpoužívanější patří

³ Více např. SAATY, T. L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *J. Math. Psychology*, 15, 234-281. nebo Mohmand a kol. (2011)

například funkce lineární, S-funkce nebo J-funkce. Příklady některých takovýchto funkcí ukazuje obr. 1. Parametry a, b, c a d pak určují hranice neostré množiny.



Obr. 1 Funkce příslušnosti – lineární, S-funkce, J-funkce
Zdroj: Šmejda, 2003

Výsledek práce s fuzzy funkcemi, kde se kombinují kritéria vzdálenost od města a nadmořská výška, pak může vypadat následovně:

KDYŽ (vzdálenost je „medium“ A nadmořská výška je „medium“) PAK výsledek je „medium“.

KDYŽ (vzdálenost je „blízko“ A nadmořská výška je „nízká“) PAK výsledek je „hodně“.

Tyto výsledky, sloučené do jednoho a následně převedené na jednu hodnotu z „ostré množiny“, mohou být následně použity jako vstupní parametry při určování přechodových pravidel (např. Al-Kheder a kol., 2008).

Je nutné poznamenat, že není výjimečné, že MCE metoda a fuzzy logika jsou použity současně (Jiang a Eastman, 2000). V těchto případech se fuzzy funkce používají ke standardizaci zvolených kritérií. Například není vhodné pracovat se vzdálenostní mapou s intervalem $0 - x$ km a s mapou nadmořské výšky s intervalem jiným. Pomocí funkcí příslušnosti je tak možné tyto intervaly sjednotit na interval $[0,1]$, popř. $[0,255]$.

3.2 Statistické metody

Statistické metody jsou druhou skupinou metod, které se při modelování používají, proto je následující podkapitola věnována právě jim. Jsou zde popsány dvě nejdůležitější metody, se kterými se v modelech můžeme setkat, a to Markovovy řetězce a logistická regrese.

3.2.1 Markovovy řetězce

Markovův řetězec (název podle Andreje Markova) je stochastický (náhodný) diskretní řetězec událostí s Markovovou vlastností, která říká, že pravděpodobnost další události není závislá na události předchozí. Budoucí stav buněk závisí tedy pouze na stavu aktuálním a ne na stavech předcházejících. Historie předcházejících stavů je tak zapomenuta. Matematicky lze Markovovu vlastnost zapsat následovně (Weng, 2002)

$$P[X_t = a_j | X_0 = a_0, X_1 = a_1, \dots, X_{t-1} = a_i] = P[X_t = a_j | X_{t-1} = a_i] = P_{ij},$$

kde P je pravděpodobnost, X_t je náhodná veličina v čase t (posloupnost náhodných veličin X_1, X_2, \dots, X_t tvoří proces) a a_j je její hodnota (stav). Rovnice nám říká, že pravděpodobnost přechodu ze stavu a_i do stavu a_j není závislá na tom, jak se systém do stavu a_i dostal.

Samotný řetězec je popsán pomocí vektoru pravděpodobností a maticí přechodu:

$$p(n) = [p_1(n), p_2(n), \dots, p_N(n)], \text{ pro } n=0, 1, 2, \dots,$$

kde $p_i(n)$ značí pravděpodobnost, s jakou je proces v čase n ve stavu i .

Matrice přechodu pak označuje pravděpodobnosti, s jakými proces přejde v čase n ze stavu i do stavu j .

$$P(n) = [p_{ij}(n)], \text{ kde } i, j=1, 2, \dots, N.$$

Markovovy řetězce se nejvíce používají při popisu změn land use. Jsou schopny ukázat trend těchto změn, jejich směr a velikost (Zhang a kol., 2011). Byly např. použity ve studii týkající suburbánní oblasti Morelia City (López a kol., 2001) a v práci od Wenga (2002). Markovovy řetězce jsou také implementovány v modulu MARKOV, v programu IDRISI, kde slouží právě ke generování matice přechodu. Díky nedostatku, týkajícího se prostorového vyjádření výsledků (změny, ke kterým dochází, jsou vyjádřeny pouze číselně, jejich rozmístění v prostoru je zcela náhodné), je tato metoda nejčastěji používána s kombinací jiných metod, např. CA (např. Pointus a Malanson, 2005, Zhang a kol., 2011). V již zmíněném software IDRISI se setkáváme s nástrojem pro modelování krajinného pokryvu, nazvaným CA_MARKOV (více kap. 3.5).

3.2.2 Logistická regrese

Logistická regrese se zabývá odhadem pravděpodobnosti jevu y (závislá proměnná) na základě nezávislých proměnných, který výskyt jevu y mohou ovlivnit. Proměnná Y nabývá pouze hodnot 0 a 1, kde 0 znamená, že tento jev nenastal a 1 naopak že daný jev nastal (např. výskyt zástavby či nikoliv). Označme vektor nezávislých proměnných jako $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

a závislou proměnnou jako $y = g(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$, kde β_i jsou koeficienty. Logistický regresní model má pak tvar (Kuráňová, 2009)

$$f(x) = \frac{e^{g(x)}}{1 + e^{g(x)}}.$$

Pokud tedy $y=1$ znamená, že buňka spadá do kategorie zástavba, a vektor nezávislých proměnných x jsou kritéria ovlivňující tuto urbanizaci, pak pravděpodobnost $y=1$ za podmínky vektoru x , můžeme psát jako (Hu a Lo, 2007)

$$P[Y = 1 | X_1, X_2, \dots, X_n] = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i)}}.$$

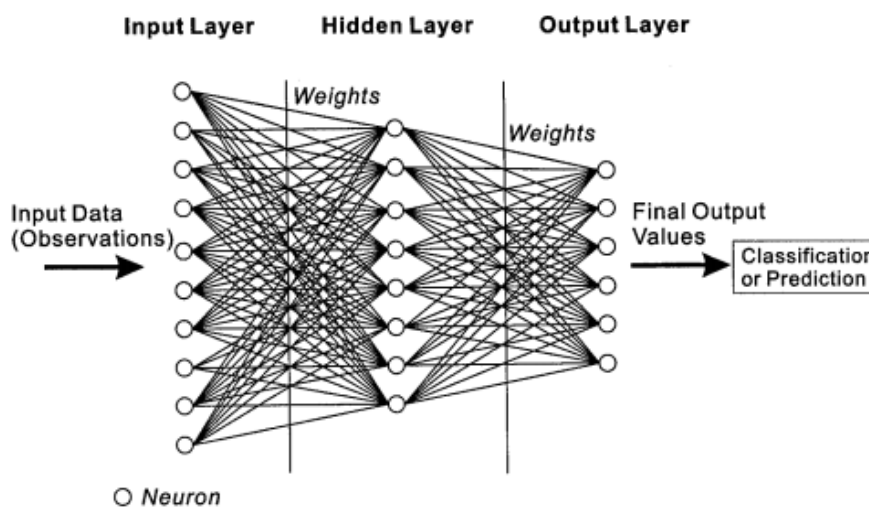
Koeficienty β_i se obvykle odhadují metodou maximální věrohodnosti.

Hu a Lo (2007) použili tuto metodu ve své studii zabývající se modelováním růstu zástavby v Atlantě. Logistickou regresi využívá i model CLUE, popř. CLUE-S nebo Dyna-CLUE (více kap. 4.2).

3.3 Neuronové sítě

Neuronové sítě (anglicky také „artificial neural network“ - ANN) byly původně vynalezeny k modelování přenosů probíhajících v mozku. Účelem bylo prozkoumat a imitovat jeho schopnosti.

Neuronová síť je složena s několika vrstev neuronů (nódů), které tak simulují strukturu lidského mozku (Li a Yeh, 2002). Obvykle se setkáváme s jednou vstupní, jednou výstupní a několika skrytými vrstvami. Spojení mezi vrstvami zajišťují přenos informace skrz síť (Obr. 2).



Obr. 2 Schéma neuronové sítě, Zdroj: Li a Yeh, 2002

V roce 1957 přichází Rosenblatt s modelem perceptronu, který využíval pro rozpoznávání vzorů. Perceptron je nejjednodušším modelem neuronové sítě a skládá se pouze z jednoho nódu. Je schopný pracovat pouze s lineárně separovatelnými daty. K rozšíření na vícevrstvé neuronové sítě (MLP - „multi-layer perceptron“) tak, jak je známe dnes, dochází až v 80. letech.

Neurony v síti plní dvě základní funkce. Přijímají signál od neuronů v předchozí vrstvě a jako vstup přenášejí tento signál neuronům v další vrstvě. Signály šířící se z jednoho nódu do druhého jsou modifikovány vahami. Čím je hodnota vah vyšší, tím je signál důležitější. Tyto váhy jsou určeny tzv. trénovacími (učícími) algoritmy, z nichž nejznámější je algoritmus BP - „Back Propagation“⁴. Učením tedy nastavujeme váhy tak, aby byly výsledky co nepřesnější.

Vstup, který přijímá neuron j , je počítán podle následujícího vzorce (Li a Yeh, 2002)

$$net_j = \sum_i w_{i,j} I_i,$$

kde I_i je signál od neuronu i , $w_{i,j}$ jsou váhy na spojení mezi neuronem i a j .

Neuron, který přijal signál net_j , jej změní dle aktivační (přenosové) funkce. Těchto funkcí je několik druhů, ale nejčastěji se používá funkce sigmoidální

$$\frac{1}{1 + e^{-net_j}}.$$

Výsledek této funkce je pak vstupním signálem do další vrstvy. Tento proces se opakuje, dokud signál nedorazí do výstupní vrstvy.

Metoda neuronových sítí byla již úspěšně aplikována v několika disciplínách, jako je ekonomika, medicína, klasifikace krajinného pokryvu, dálkový průzkum Země, analýza obrazu či předpověď změn klimatu. Zásahu na masivnějším použití této metody má především rozvoj počítačové techniky (Pijanowski a kol., in press).

Model LTM (Land Transformation Model), založený na metodě neuronových sítí použili ve své studii např. již citovaný Pijanowski a kol. (in press). Byl vyvinut na modelování změn land use, za použití dalších socioekonomických, politických a environmentálních dat. V dalších pracích se pak setkáváme především s kombinací neuronových sítí a CA (Almeida a kol., 2008, Li a Yeh, 2002, kap. 3.5).

⁴ Více o BP např. Pijanowski a kol., 2001, nebo Almeida a kol., 2008

3.4 Modelování pomocí agentů

Modelování pomocí agentů (Agent-based modelling (ABM), agent-based systems (ABS), agent-based modelling and simulation (ABMS)) má kořeny v oblasti umělé inteligence a představuje nový přístup pro modelování systémů, pracujících s tzv. agenty.

Univerzální definice pojmu agent neexistuje, uvedu tedy několik z nich. Agent je reálný nebo abstraktní objekt, schopný řídit sám sebe a své okolí a 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). Casti (1997) uvádí, že agent by měl obsahovat dva typy pravidel, a to pravidla zajišťující reakce agenta na prostředí a pravidla mající na starost adaptaci agenta při změně stávajících pravidel (Husáková, 2006). Někteří autoři považují za agenta jakoukoliv nezávislou komponentu, např. program, jedince nebo skupinu lidí (Bonabeau, 2001).

Vzájemné ovlivňování agentů je možné vysvětlit na jednoduchém příkladu. Na počátku mějme stejný počet dvou typů agentů – červených a modrých. Každá skupina agentů se snaží přesvědčit agenta opačného typu, aby se k nim přidal. Pokud je modrý agent obklopen více červenými agenty, změni svůj typ (Husáková, 2006).

Brown a kol. (2005) používají ve své práci dva typy agentů, a to residenty a komerční centra. Residenti mají tři atributy, popisující jejich preference (estetická kvalita místa, blízkost komerčního centra a hustota obyvatel), komerční centra atributy nemají, ale jejich přítomnost ovlivňuje rozhodnutí residentů. V práci Castella a kol. (2005), zaměřené spíše na agrární oblasti, se naopak setkáváme s agenty, jako je domácnost, farmář a chovaná zvířata. Dobrým příkladem může být také studie od Millingta a kol. (2008), vysvětlující rozdíl mezi „tradičním“ a „komerčním“ agentem. Zatímco tradiční agent může představovat farmáře staršího 19 let, neměnicího krajinu a preferujícího tradiční přístup využití krajiny, komerční agent zastupuje businessmana, ne staršího 65 let, který za účelem co největšího zisku bude krajinu měnit, kupovat či prodávat. Jak je tedy zřejmé z předchozího textu, je tento přístup, se kterým se setkáváme od 80. let, založený na reprezentaci objektů a populací na co nejelementárnější úrovni a zaměřuje se především na lidská rozhodnutí.

Modely, založené na ABM jsou využívány v několika oborech, ať již jde o politické analýzy a strategie, ekonomie, sociální vědy, infrastruktura, či vojenství (Husáková, 2006). V geografii se setkáváme také s mnoha modely, popsány především v práci Matthewse a kol. (2007). Jako příklad je možné uvést model SLUDGE, použitý na vývoj krajinného pokryvu. Majitelé parcel v tomto modelu ovlivňují vývoj jednotlivých buněk a tím tedy jejich výsledný stav (agrární či urbánní). Další projekt, nazvaný SprawlSim, testuje hypotézy identifikující proces rozšiřování měst v severní Americe, s důrazem na vyřešení otázky, jak tento proces kontrolovat.

Loibl a Toetzer (2003) pak používají ABM k vysvětlení a simulaci rozvoje zástavby v suburbánních zónách Vídně za pomoci modelu STAU-Wein.

3.5 Ostatní modely

I když bylo v předchozích kapitolách popsáno mnoho metod, se kterými se můžeme při modelování setkat, existuje stále ještě mnoho modelů, které podle této klasifikace nelze jednoznačně zařadit. Často jsou to modely kombinující několik přístupů, většinou zde již uvedených.

Markovovy-CA modely:

Jak již název napovídá, jedná se o kombinaci metod CA a Markovových řetězců. Díky informaci ze sousedních buněk, kterou poskytne model CA, a pravděpodobnostmi přechodu z Markovova modelu je tato kombinace komplexní metodou, vhodnou k analýze prostorových změn. Celkově je tedy pravděpodobnost, že se stav jedné buňky změní, 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).

Tento „hybridní“ model, který zahrnuje např. software IDRISI (CA_MARKOV), byl opět aplikován v nejrůznějších studiích (Zhang a kol., 2011, Araya a Cabral 2010, Henríquez a kol., 2006).

Fuzzy-CA modely:

Al-Kheder a kol. (2008) využívají fuzzy logiku a CA při modelování růstu zástavby v Indianě. Výstupy z fuzzy logiky byly pak použity jako vstupní parametry pro přechodová pravidla, nutná při aplikaci CA. Pomocí fuzzy pravidel (viz kap. 3.1.2) byl určen vývojový potenciál každého pixelu. Výsledná fuzzy funkce byla pak pomocí COA (centre of area) metody konvertována na jednu určitou hodnotu (y^*). Tato hodnota pak představovala minimální počet sousedních pixelů, které jsou nutné k tomu, aby se testovaný pixel přeměnil na pixel se zástavbou. Přechodová pravidla pak mohou vypadat například následovně:

POKUD je testovaný pixel klasifikovaný jako zástavba, řeka, silnice, jezero,...atd., PAK ke změně stavu nedojde.

POKUD není testovaný pixel klasifikovaný jako zástavba a má nejméně y^* „zastavěných“ pixelů ve svém okolí, PAK dojde ke změně stavu na „zastavěný“.

POKUD není testovaný pixel klasifikovaný jako zástavba a má ve svém okolí silnici nebo jezero A má nejméně $(y^* - 2)$ „zastavěných“ pixelů ve svém okolí, PAK dojde ke změně stavu na „zastavěný“.

ANN-CA modely:

Almeida a kol. (2008) použili tento hybridní model k modelování vývoje města Piracicaba, ve státě São Paulo. Využívají neuronové sítě k vytvoření pravděpodobnostních map, které pak slouží jako vstup do CA modelu DINAMICA. Vstupní vrstvou při práci s ANN byly mapy změny využití krajiny a příslušné fyzickogeografické a infrastrukturní faktory (vzdálenost od vodních toků, komerčních zón, residenčních zón,...atd.). Tento proces probíhal v programu SNNS.

Kombinací těchto metod se zabývá i Li a Yeh (2002), kteří za použití ArcInfo a Arc Macro Language (AML) namodelovali vývoj města Dongguan, v jižní Číně.

LCM (Land Change Modeler):

U tohoto modelu, opět dostupného v software IDRISI, se můžeme setkat s několika přístupy. Při modelování potenciálu každého pixelu k dané změně je možné použít jak logistickou regresi, tak MLP (multi-layer perceptron) neuronovou síť. Pro standardizaci faktorů, jako je např. vzdálenost od silnic, je používána fuzzy logika. Pro predikci budoucího vývoje pak model pracuje s Markovovými řetězci.

Protože je model LCM použit v této práci, více je mu věnováno v kap. 4.1.

GEOMOD:

Geomod, vyvinutý na SUNY College of Environmental Science and Forestry, je dalším z modelů, dostupných v programu IDRISI. Model simuluje změnu pouze mezi dvěma kategoriemi. Pro práci s tímto modelem je nutné zadat konečný počet pixelů pro obě kategorie. Jelikož je těžké tento počet přesně odhadnout, kombinuje se často s modelem CA_MARKOV. Jedním z důležitých vstupů je také tzv. mapa vhodnosti pro přenos do stavu 2, kterou uživatel může vytvořit pomocí metody MCE (kap. 3.1.1). Geomod je ale i schopný si ji vytvořit sám, na základě „driver maps“ (zpravidla se jedná o fyzickogeografické faktory). Výsledná mapa vhodnosti je vytvořena podle následujícího vzorce (Pontius, 2006):

$$R(i) = \frac{\sum_{a=1}^A W_a P_a(i)}{\sum_{a=1}^A W_a},$$

kde $R(i)$ je hodnota buňky i , A je celkový počet „driver maps“, a je jedna z nich, W_a je váha mapy a , $P_a(i)$ je hodnota v procentech, udávající zastoupenost kategorie a_k v buňce i .

Tento model byl využit např. v následujících studiích: Dushku a Brown (2003) zabývající se odlesňováním v Mexiku, Cabral a Zamyatin (2006) modelující rozvoj zástavby v Sintra-Cascais (Portugalsko) a Poelmans a Rompaey (2009) studující rozvoj urbanizace v okolí Bruselu.

Dyna-CLUE

Druhý z modelů, použitých v této práci, kombinuje logistickou regresi a informace od sousedních buněk, podobně jako CA modely. Výsledky jsou potom použity k tvorbě vhodnostních map, na jejichž základě jsou alokovány jednotlivé změny krajinného pokryvu. Rozloha těchto změn, respektive 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, na jinou (dále „míra vhodnosti“). Nová půda je tedy rozmístěna do míst s největší mírou vhodnosti pro daný typ krajinného pokryvu. Více o tomto modelu viz kap. 4.2.

UrbanSim

Tento volně stažitelný model, vyvinutý Paulem Waddellem na univerzitě v Kalifornii, kombinuje ABM⁵ a statistické metody, jako je logistická regrese a metody založené na algoritmech Monte Carlo (stochastické metody). Model je určen k modelování městské zástavby, dopravy, obyvatel a stavu životního prostředí (více na www.urbansim.org).

UrbanSim byl například použit pro modelování oblasti Eugene-Springfield v americkém státě Oregon (Waddell, 2002). V Evropě se použitím modelu zabývali např. Patterson a kol. (2010), kteří srovnávali výsledky simulací pro města Brusel a Lyon.

⁵ UrbanSim používá tři typy agentů: domácnosti, developeri a obchod (Grill a kol., 2008)

KAPITOLA 4

Land Change Modeler a model Dyna-CLUE

Praktická část diplomové práce je zpracovávána ve dvou modelovacích softwarech. Prvním z nich je software Land Change Modeler (dále jen LCM) a druhým je volně dostupný Dyna-CLUE. Následující kapitola se věnuje podrobnějšímu popisu obou těchto modelů.

4.1 Land Change Modeler

LCM, celým názvem Land Change Modeler for Ecological Sustainability, je jedním z modelovacích modulů programu IDRISI. Nyní funguje i jako extenze v programu ArcGIS 9.2 SP2 nebo ArcGIS 9.3. Jedná se o tzv. vertikální aplikaci, sloužící k analýze a predikci změn krajinného pokryvu. Tento model byl uveden na trh v roce 2006. Společnost Clark Labs ho implementovala do tenkrát nového softwaru Indrisi Andes. Popis tohoto modelu pochází především ze souboru, obsahujícího návod k LCM (IDRISI Selva help System).

LCM nabízí sadu nástrojů umožňujících jak analýzu změn land cover, tak monitorování a identifikaci jeho trendu a jeho následné mapování. Použitím speciálních faktorů, omezení a jiných map, ovlivňujících změnu krajinného pokryvu, je možné vytvořit budoucí podobu krajiny.

Jako hlavní vstup vyžaduje LCM dvě mapy krajinného pokryvu ze dvou časových období (čas jedna a čas dva). Modelování se pak skládá z několika částí. K dosažení výsledků, potřebných pro tuto diplomovou práci, byly použity kroky 1-3 a dále krok 5 (obr. 3). Kompletní proces obsahuje ale pět částí, a to:

Analýzu změn (Change Analysis)

1. Potenciál přeměny (Transition Potentials)
2. Predikce změn (Change Prediction)
3. Implikace (Implications)
4. Plánování (Planning)

Analýza změn:

Jak již název napovídá, první krok slouží k analýze změn, které se v minulosti odehrály ve sledovaném území. Jako vstupní data modul vyžaduje dva historické snímky. Na jejich základě pak umožňuje získat informace o tom, kde došlo k úbytku, nárůstu nebo přesunu určitých kategorií krajinného pokryvu. Výsledky lze zobrazit do mnoha map a grafů. Je možné vytvořit jak změny za každou kategorií nebo mezi dvěma kategoriemi, tak se zaměřit pouze na jeden typ

využití krajiny a určit, na úkor jakých kategorií došlo v tomto typu ke změně. Co se týče jednotek míry, k dispozici je výběr mezi buňkami, hektary, čtverečními kilometry, akry, čtverečními mílemi, procenty změny a procenty z území.

Tento modul nabízí také vytvoření speciální mapy trendu. Jde o mapu, zobrazující postupné rozšiřování určité kategorie v prostoru. Trend je počítán pomocí polynomiální interpolace, stupeň interpolace je možné zvolit od jedné do devíti.

Potenciál přeměny:

Konečným výsledkem tohoto kroku je vytvoření mapy, ve které každá buňka reprezentuje potenciál daného místa ke změně. Tato mapa je pak použita při predikci. Modul je organizován pomocí sub-modelů, které se mohou skládat z přeměny jednoho typu krajinného pokryvu nebo ze skupiny, ovlivněné stejnými proměnnými. Např. sub-model nazvaný zástavba, může obsahovat všechny buňky, které byly v čase dva změněny na zástavbu. Počet a podoba sub-modelů pak závisí na konkrétním problému, který je řešen.

Každý sub-model je třeba definovat pomocí proměnných, které mají na daný sub-model vliv. Mezi tyto proměnné patří již výše zmíněné faktory. Pro standardizaci faktorů je možné využít fuzzy logiku.

Pro vytvoření výsledné mapy potenciálu, model nabízí tři metody. První z nich je logistická regrese (kap. 3.2.2), druhou pak vícevrstvá neuronová síť (MLP, kap. 3.3) a třetí je metoda SimWeight⁶. Defaultní nastavení počítá s použitím neuronové sítě.

Při použití neuronové sítě je jako vstupní množina zvolen náhodný výběr z pixelů, u kterých buď došlo, nebo nedošlo ke změně. Celkový počet pixelů, který je vybrán, je určen programem automaticky, ale odpovídá buď počtu změněných, nebo přetrvávajících pixelů (většímu číslu). Polovina těchto pixelů je použita pro učení sítě a upravení vah, druhá jako testovací množina. MLP pak vytvoří síť neuronů mezi vstupními proměnnými (faktory) a výstupními třídami, které tvoří kategorie sub-modelů (např. staveniště a zemědělská půda). Na základě vztahů mezi faktory, použitými v daném sub-modelu a vybranými pixely jsou pak po dokončení procesu (pokud je dosaženo vyhovující přesnosti) vytvořeny jednotlivé mapy potenciálu.

Přitom je také spuštěn automatický mód, který monitoruje a modifikuje počáteční a konečnou rychlost učení. Tato rychlost se progresivně snižuje během iteračního procesu, který končí buď přesáhnutím počtu iterací, dosažením požadované přesnosti nebo RMS chyby. Pokud je po prvních stech iteracích RMS chyba výrazně oscilující, jsou počáteční i koncové rychlosti sníženy na polovinu a celý proces začíná znovu. V ideálním případě by, v závislosti na počtu již proběhnutých iterací, měla křivka RMS chyby být hladká a klesající.

⁶ Similarity-Weighted Instance-based Machine Learning algorithm. Jedná se o mírně modifikovanou verzi algoritmu popsaného např. v SANGERMANO a kol. (2010)

Predikce změn:

Predikce do budoucna je třetím krokem v modelování pomocí LCM. Výchozí modelovací metodou je Markovův řetězec. Ze dvou vstupních map a z výstupu z kroku dva model určí, k jaké očekávané přeměně dojde mezi pozdějším vstupním datem a uživatelem určeným datem budoucím (počet pixelů). Výstupem jsou dva soubory. První obsahuje matici pravděpodobnosti přechodu, pro každou kategorii, mezi časy t a $t+1$. Tato matice přechodu může být specifikována i pomocí jiného, externího modelu. Druhý výstup je matice obsahující pravděpodobný počet pixelů, určených ke změně.

Při výpočtu jednotlivých pravděpodobností program postupuje následovně: Nejprve určí tabulku vzájemných přeměn mezi historickými daty t_1 a t_2 („crosstabulation“) a přepočte jednotlivé plochy na procenta. Tím vznikne základní matice přechodu, označme ji např. jako A . Nová matice přechodu, udávající přeměnu z novějšího roku do roku budoucího, je pak výsledek mocnění matice A , podle následujícího pravidla. Pokud je mezi historickými mapami krajinného pokryvu např. 5 let, pak matice přechodu pro rok t_2+5 je A , pro rok t_2+10 A^2 , pro rok t_2+15 A^3 , atd... Pokud doba mezi projekčním rokem a historickým snímkem není násobkem doby mezi dvěma historickými snímky, jsou pomocí kvadratické interpolace určeny i mezilehlé hodnoty. Jiný způsob může být i částečné mocnění matice, které však není tak rychlé a může vést k více řešením (Idrisi Selva Help System).

Nepovinou součástí tohoto kroku je aplikace modulu pro rozvoj silniční sítě, který modeluje její budoucí vývoj. Je schopný rozeznat tři typy silniční sítě, a to silnice primární, sekundární a terciární. Ovšem protože jak sami autoři přiznávají, je tento modul zatím v experimentální fázi, nebyl pro potřeby diplomové práce využit.

Poslední fází predikce je tzv. rozmístění změn. Model nabízí dva typy predikce: „hard a soft“. Výstupem z „hard“ predikce je mapa landcover se stejnými kategoriemi jako vstupní data. Je vytvořen seznam tříd (hostitelů), které nějakou půdu ztratily a seznam tříd (žadatelů), které naopak tuto půdu získají. Procedura pak alokuje od hostitele půdu pro každého žadatele. „Soft“ predikce mapuje taková místa, kde s největší pravděpodobností dojde ke změně.

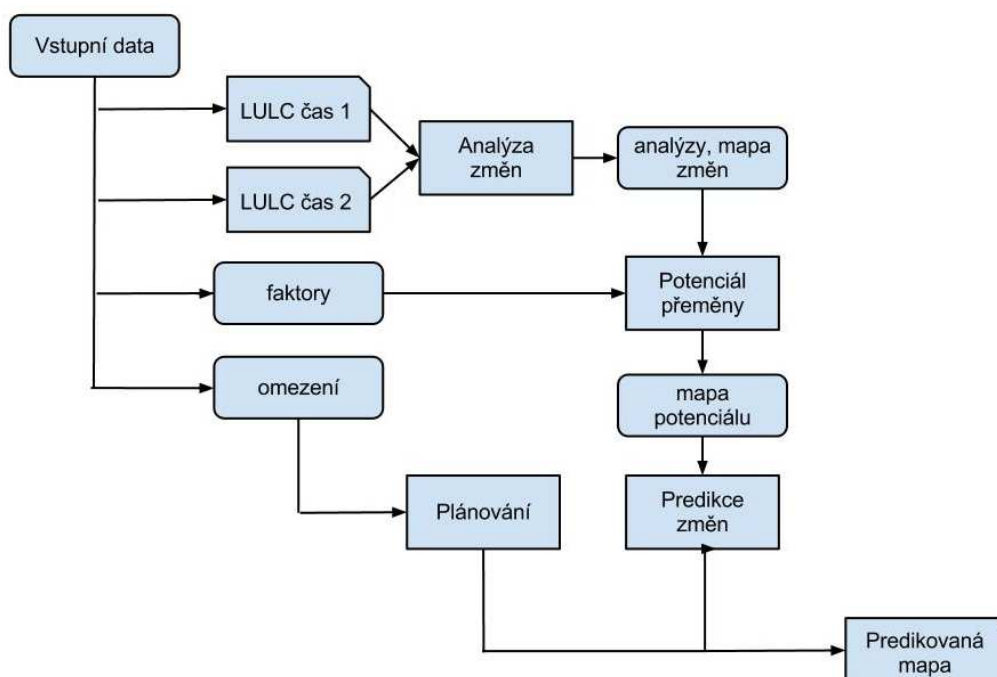
Dalším možným krokem je pak validace, umožňující určit kvalitu predikce na základě referenčních dat.

Čtvrtá a pátá část predikce se týká hodnocení dopadů predikovaných změn na biodiverzitu (4) a plánování opatření, která by přispěla k zachování stávajícího ekologického stavu (5). Protože čtvrtý krok nebyl v práci aplikován, nepovažuji jeho podrobnější vysvětlení za podstatné. Bližší popis je možné najít ve výše zmíněném Help systému, který je volně ke stažení na internetových stránkách společnosti Clark Labs (<http://www.clarklabs.org>).

Plánování:

Jak bylo již zmíněno výše, tento modul byl vyvinut především pro ekologické aspekty modelování. V práci byla použita jeho první část, týkající se omezení a území přednostně určených k rozvoji.

Pro každou přeměnu kategorií, určených pomocí sub-modelů, je možné definovat území, kde je rozvoj této kategorie zakázán (vodní plochy, lesní porosty...) a kde naopak upřednostněn. Tyto speciální mapy pak zvyšují potenciál přeměny určený v kroku dva. Aby tedy LCM při výsledném predikování tyto požadavky bral v úvahu, je nutné je definovat před vlastní predikcí, tedy před krokem 3.



Obr. 3 Schéma modelovacího procesu za pomoci LCM, kroky 1,2,3 a 5. Zdroj: Autor

Z odborných studií, využívající LCM, je možné uvést např. tyto (přesné citace jsou uvedeny ve zdrojích dat):

- *Modelling of spatio-temporal expansion of built-up and residential-commercial dwellings and their socioeconomic implication in the lower hunter of NSW, Australia* (Manandhar a kol., 2006). V této práci autoři zkoumají přeměnu zemědělské půdy a přírodních oblastí na urbánní a residenční zástavbu, a to až do roku 2025.
- *Mapping Urban Change to Plan the Future: Maputo City Change Model and the Municipal Structure Plan* (Henríquez a kol., 2010). Práce se opět zabývá modelováním zastavěného území, konkrétně města Maputo v Mozambiku.
- *Urban sprawl analysis and modeling in asmara,eritrea:application of geospatal tools* (Tewolde, 2011). V této diplomové práci se autor zabývá rozvojem města Asmara v Etiopii a jeho budoucím vývojem, až do roku 2020, za použití právě LCM.

- *Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008)*, (Schulz a kol., 2010). V této práci se autoři nezabývají modelací urbanizovaných částí krajiny, nýbrž přeměnou lesů a křovin na zemědělské oblasti.

4.2 Dyna-CLUE

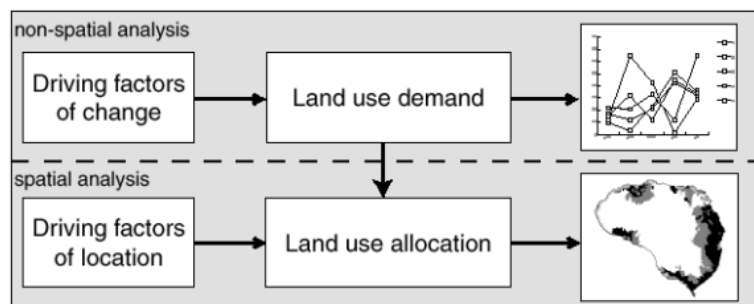
Dyna-CLUE („Dynamic Conversion of Land Use and its Effects“) je jedním z řady modelů, vyvinutých na Wageningen Univeristy v Nizozemsku.

Původní CLUE model („the Conversion of Land Use and its Effects modelling framework“) vytvořili v roce 1996 T. Veldkamp a L. Fresco. Model sloužil k simulaci změn krajinného pokryvu, za použití empiricky definovaných vztahů mezi jednotlivými typy krajinného pokryvu a proměnnými, které vývoj krajiny ovlivňují. Tento model byl určen pro kontinentální a národní měřítko a byl aplikován ve střední Americe, Ekvádoru, Číně, Indonésii a na Jávě. Pracoval s rozsáhlými územími a s daty nižšího prostorového rozlišení. Docházelo tedy k tomu, že výsledné pixely obsahovaly více typů krajinného pokryvu. Pro účely modelování na lokální úrovni nebyl proto vhodný. Proto P. Verburg v pozdějších letech vyvinul novou verzi CLUE modelu, která byla určena pro práci na regionální a lokální úrovni, se snímky dálkového průzkumu Země. Tento nový model nazval CLUE-S („the Conversion of Land Use and its Effects at Small regional extent“). Nejnovější typy CLUE modelu jsou pak Dyna-CLUE (Verburg a Overmars, 2009) a CLUE-Scanner.

Následující text vychází především z volně stažitelného návodu ke CLUE modelům (<http://www.cluemodel.nl/Exercises.pdf>) a z práce Morávka (2011).

Model Dyna-CLUE kombinuje dva procesy, a to „top-down“ a „bottom-up“. První z nich se týká rozmístění land use, druhý pak určení lokálních konverzních procesů z jednoho typu land use na druhý.

Model je rozdělen na dva samostatné moduly, neprostorovou (non-spatial demand module), a prostorovou (spatially explicit allocation procedure) analýzu (obr. 4).



Obr. 4 Neprostorová a prostorová analýza
Zdroj: <http://www.cluemodel.nl/Exercises.pdf>

Na základě uživatelem předem definovaných požadavků na budoucí rozlohu jednotlivých typů využití krajiny, první modul určí celkovou rozlohu změn. Druhý modul pak tyto změny ve sledovaném regionu alokuje.

Procedura „rozmístění“ přiřazuje každému místu nejpravděpodobnější typ krajinného pokryvu podle následující rovnice

$$Ptot_{i,t,lu} = Ploc_{i,t,lu} + (Pnbh_{i,t,lu}) + elas_{lu} + comp_{t,lu} ,$$

kde i je daná buňka, t je čas, lu je typ land use, $Ptot$ je výsledná pravděpodobnost, $Ploc$ je vhodnost přeměny stávajícího typu buňky na typ lu (lokální míra vhodnosti), $Pnbh$ vhodnost přeměny sousedních buněk (nepovinné), $elas$ je elasticita změny a $comp$ je konkurence.

Lokální míra vhodnosti (location suitability) je odvozena z pravděpodobnostních map. Tyto mapy jsou výsledkem logistické regrese (viz kap. 3.2.2), charakterizující vztah mezi typem krajinného pokryvu a faktory, které krajinný pokryv ovlivňují. Pro výpočet je možné použít program SPSS (trial verze je k dispozici na <http://spss.en.softonic.com/>) a výsledky lze ověřit pomocí ROC (Receiver Operating Characteristic) analýzy. ROC analýza je statistický postup pro vyhodnocení správné a falešné pozitivivity (TP, FP) a správné a falešné negativivity (TN, FN). Příkladem může být právě správně a špatně klasifikovaná změna krajinného pokryvu (viz tab. 1).

Tab. 1 ROC analýza

Predikce \ Skutečnost	Změna	Zachování stavu	Relativní četnost
Změna	a	b	$TP = a/(a + b)$ $FN = b/(a + b)$
Zachování stavu	c	d	$TN = d/(c + d)$ $FP = c/(c + d)$

Zdroj: <http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/teaching/zbd/biostat3.pdf>

Pokud je model zcela náhodný, výsledek ROC analýzy je 0,5. Pokud je model úplně přesný, výsledek je 1. V logistické regresi je to tedy hodnota, která hodnotí kvalitu použitého modelu, podobně jako koeficient determinace (R^2) u lineární regrese.

Míru vhodnosti sousedních buněk (neighbourhood suitability) - $F_{i,k,d}$ je možné určit pomocí faktoru obohacení (enrichment factor), který určuje míru výskytu určitého typu krajinného pokryvu v sousedních buňkách. Vypočítá se podle následujícího vzorce

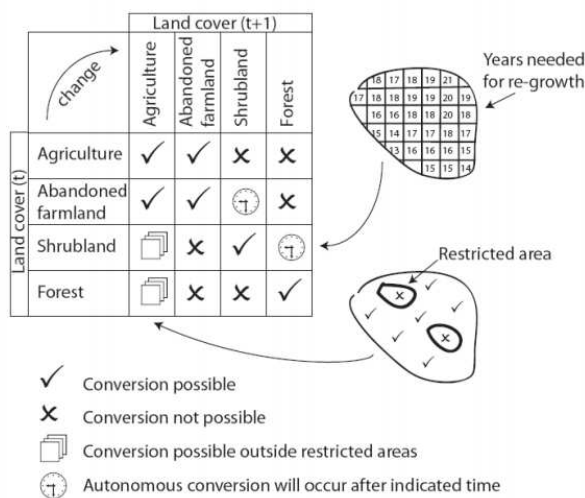
$$F_{i,k,d} = \frac{n_{i,k,d}/n_{i,d}}{N_k/N} ,$$

kde $n_{i,k,d}$ je počet buněk krajinného pokryvu k , v okolí d , buňky i ; $n_{i,d}$ je celkový počet buněk v okolí d , buňky i ; N_k je celkový počet buněk krajinného pokryvu k a N je celkový počet buněk. Pokud podíl výskytu určitého typu krajinného pokryvu v okolí buňky je roven průměru v celém rastru, pak je výsledek 1. Hodnoty nad a pod 1 ukazují na nižší, resp. vyšší výskyt tohoto typu krajinného pokryvu v okolí zkoumané buňky.

Elasticita ukazuje náklady na konverzi z jednoho typu krajinného pokryvu na druhý. Pokud je tato hodnota vysoká, zvyšuje se pravděpodobnost, že typ dané buňky zůstane zachován, jinými slovy, její elasticita je nízká. Naopak nízké hodnoty představují nízké náklady a tudíž vysokou pravděpodobnost změny a tedy vysokou elasticitu.

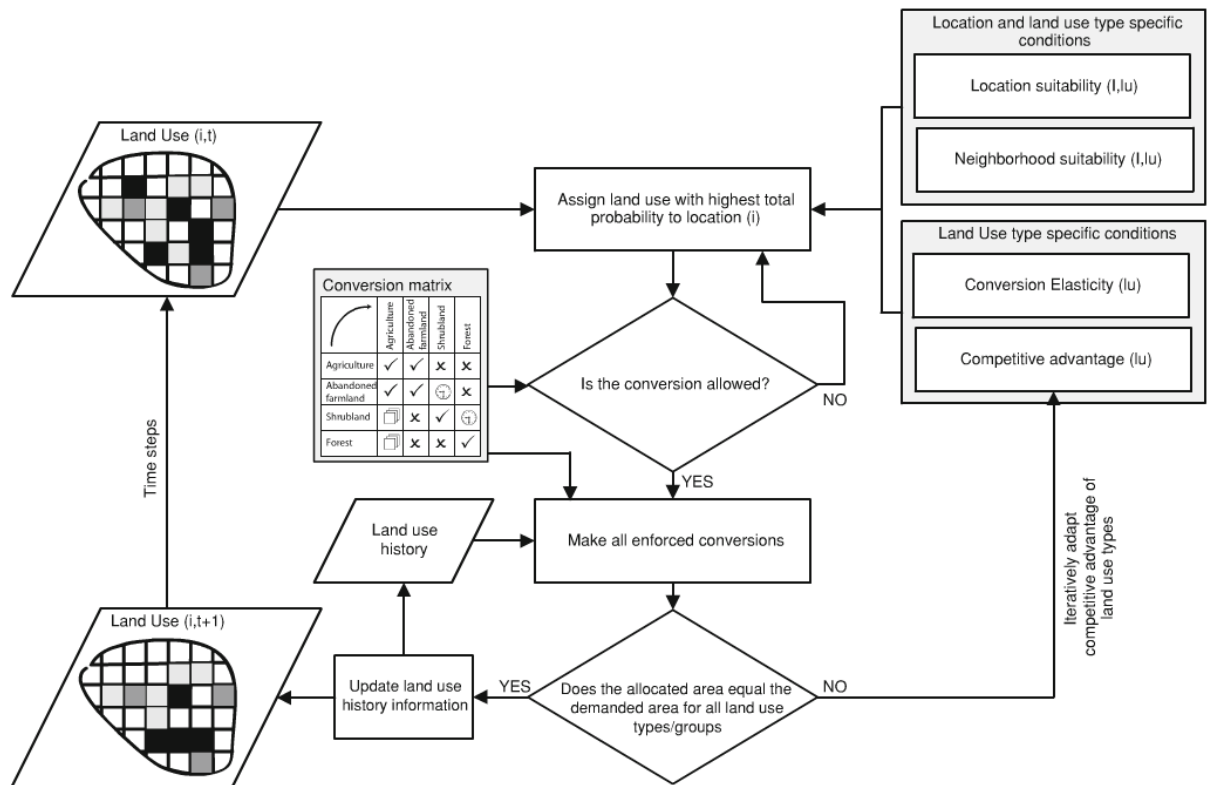
Konkurence je pro všechny typy krajinného pokryvu určována iterativně během iteračního procesu. Pokud je rozmístěná plocha menší, než plocha vyžadovaná uživatelem, hodnota konkurence se zvyšuje a naopak.

Dalším důležitým vstupem modelu je matice přechodu, pomocí které je možné definovat, jaký typ krajinného pokryvu je možné změnit a jaký ne, jaký jen za určitých podmínek, apod. Zjednodušenou matici ukazuje obr. 5



Obr. 5 Zjednodušená matice přechodu
Zdroj: <http://www.cluemodel.nl/Exercises.pdf>

Celkový proces rozmístění je vidět na obr. 6. Po proběhnutí tohoto procesu je celková změněná plocha porovnána s plochou, která je definována ve scénáři. Podle výsledné odchylky mezi těmito plochami je iterativně změněna hodnota konkurence a procedura se opakuje, dokud není konečná odchylka menší nebo rovna odchylce povolené. Následně je časový krok zvýšen o jedna a proces se opakuje až do konečného roku. Pokud proces neskončí po 20 000 iteracích, končí automaticky zobrazením chyby.



Obr. 6 Diagram alokačního procesu Dyna-CLUE

Zdroj: Verburg a kol., 2009

Model nabízí dalších několik možností, jak upřesnit konečné rozmístění buněk. Jejich popis a aplikace jsou uvedeny v kapitole Metodika. Protože program Dyna-CLUE pracuje pouze s textovými soubory, je nutné připravit předem všechna vstupní data ve vhodném geoinformačním (např. ArcGIS) a statistickém programu (např. SPSS).

Stejně jako LCM model byl i tento použit v několika odborných pracích. Zde je opět uvedeno několik z nich.

- *Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines* (Peter Verburg a kol., 2006). Tato práce se zabývá využitím modelu k zhodnocení možných následků deforestace na Filipínách.
- *Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model* (Verburg a Overmars, 2009). Autoři práce se zde zabývají možnostmi modelu Dyna-CLUE při predikci krajinného pokryvu, převážně v celoevropském měřítku.
- *Analysis and modelling of landcover changes in a mountain area: the Barcelonnette basin, South French Alps* (Moravek, 2011), kde se autor snaží pomocí zvolených

scénářů určit vývoj studované oblasti na konci 21. století. Zkoumaná oblast zde již nepředstavuje pouze venkovskou krajinu, ale zahrnuje i zastavěná území.

- Zatím jedinou dohledanou prací, řešenou území v České republice je práce *Applicability of the EURURALIS Scenarios at the Fine Spatial Scales* od Mgr. Jitky Strakové. Práce se zabývá modelováním budoucího vývoje českého, 30 km² rozlehlého regionu, opět pod různými scénáři.
- *Modeling Land-Use Changes in the South Nation Watershed using Dyna-CLUE* (El Khoury, 2012) je práce zabývající se použitím Dyna-CLUE ve třech scénářích vývoje, jejímž cílem bylo ověřit možnosti tohoto softwaru.

Jak je vidět z uvedených prací, není moc autorů, kteří by se do dnešní doby zabývali použitím modelu Dyna-CLUE čistě pro urbánní nebo suburbánní území velkého měřítka. Proto aplikací modelu pro takovéto území bude možné ověřit, zda je tento model vhodný i pro jiné, než pouze venkovské oblasti.

KAPITOLA 5

Metodika

V první části této kapitoly je nejprve stručně představeno modelové území, které bylo v práci analyzováno. Dále jsou popsána použitá data, jejich úpravy a samotný postup modelování v obou programech.

5.1 Charakteristika zájmové oblasti

Oblast je složena z pěti katastrálních území, nacházejících se ve Středočeském kraji, jihovýchodně od hlavního města Prahy. Jedná se o čtyři katastrální území okresu Praha - východ (Čestlice, Dobřejovice, Modletice a Jažlovice), a o jedno katastrální území okresu Praha - západ (Průhonice), obr. 7, tab. 2. Celková rozloha území činí 19,347 km².



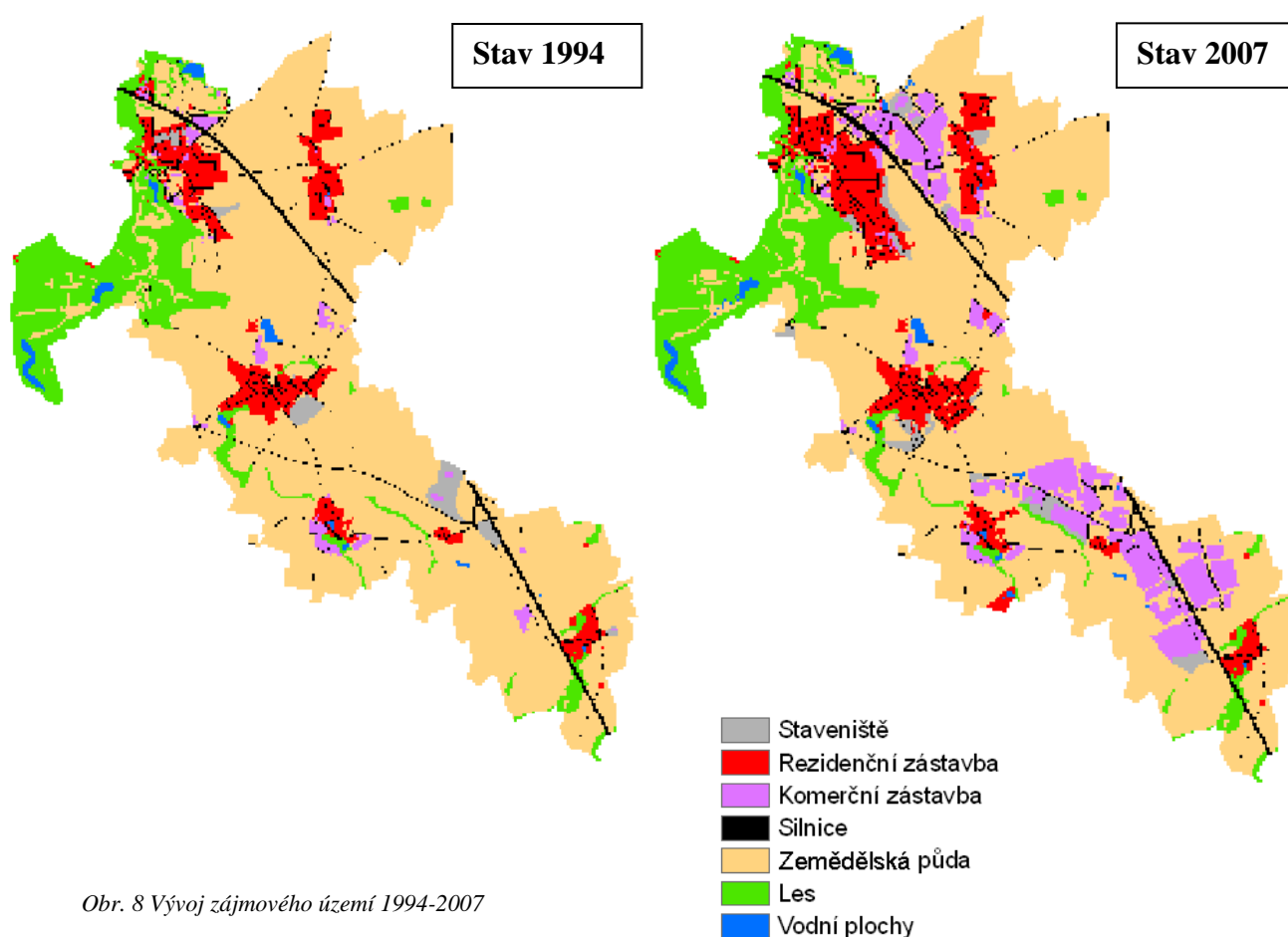
Obr. 7 Zájmové území, Zdroj: ArcGIS, Cenia

Tab. 2 Základní údaje o obcích

	Rozloha [ha]	Počet obyvatel (31.12), nárůst počtu obyvatel (%)				
		1994	%	2002	%	2011
Průhonice (celá obec)	753	1 671	31,7	2 448	6,0	2606
Čestlice	443	381	26,2	516	10,6	577
Dobřejovice	384	472	37,6	757	22,3	975
Modletice	344	362	28,6	507	12,5	580
Jažlovice	308	104	28,7	146	7,6	158

Zdroj: Český statistický úřad, obecní úřad v Říčanech

Všechna výše uvedená katastrální území prošla od poloviny 90. let výraznou změnou. Především díky své velmi výhodné dopravní poloze v blízkosti dálnice D1 se tyto obce staly atraktivním místem pro novou výstavbu. Setkáváme se tu jak s rozvojem rezidenční, tak komerční zástavby. Významná byla především výstavba obchodní zóny Průhonice – Čestlice, která koncem 90. let představovala jedno z nejvíce navštěvovaných nákupních center v zázemí Prahy (Potůčková, 2011). Mezi lety 1994 a 2007 došlo u komerční zástavby k nárůstu o 160,5 ha. Protože před rokem 1994 se v oblasti téměř žádná komerční výstavba nenacházela, v procentuálním vyjádření činil tento nárůst 584 %. Co se týče zástavby rezidenční, ta se v oblasti rozrostla o 46 ha, tedy o 36,1 % (obr. 8).



Obr. 8 Vývoj zájmového území 1994-2007

Jak je vidět z tab. 2, počet obyvatel od roku 1994 stále narůstá, i když změna mezi rokem 2002 a 2011 není již tak signifikantní jako v předešlém období, kdy byl proces suburbanizace mnohem výraznější, než jak ho pozorujeme v posledních letech. V celém období zaznamenává největší nárůst obyvatel obec Dobřejovice. Naopak počet obyvatel v Průhonicích začíná po velkém nárůstu mezi lety 1994 a 2002 (31,7 %) pomalu stagnovat. Tento jev by mohla vysvětlit stále ještě velmi výhodná poloha obce Dobřejovice, ale lepší cenová dostupnost nových pozemků, než je tomu u obce Průhonice (cenová mapa, <http://www.vumop.cz>).

Průhonice:

I když modelová oblast zahrnuje z obce Průhonice pouze stejnojmenné katastrální území, celá obec se skládá ze dvou katastrů, a to Hole u Průhonic a Průhonice (Územně identifikační registr, <http://www.uir.cz/>). Jak je vidět z tab. 2, celková rozloha obce je 753 ha, celkový počet obyvatel v roce 2011 byl 2853.

Pokud se týká bydlení, obec Průhonice se v posledních letech stala velmi atraktivním místem. Vděčí za to především své poloze v těsné blízkosti Prahy a své velmi dobré dopravní dostupnosti. Na atraktivitě území se podílí i rozlehlý Průhonický park (250 ha), který se rozprostírá v okolí Průhonického zámku. Součástí parku je také vyhledávaná Dendrologická zahrada.

Čestlice:

Obec Čestlice se rozkládá v sousedství Průhonic, od nichž je oddělená dálnicí D1. Jedná se o obec, která vešla v povědomí hlavně díky výstavbě výše zmiňované obchodní zóny, která začala vznikat v první polovině devadesátých let. Nachází se na západním a severozápadním okraji obce a s rozlohou přesahující 10 ha, je největší nákupní zónou v České republice. Turistickým lákadlem je také největší aquapark ve střední Evropě, který byl otevřen na jaře 2008.

Co se týče výstavby (jak komerční, ale i rezidenční), právě obce Čestlice a Průhonice prošly za sledovaný horizont největším vývojem z celé zájmové oblasti. Konkrétně obec Čestlice byla na počátku devadesátých let velmi malým sídlem se zanedbanou obecní infrastrukturou (chybějící kanalizace a vodovod, pouze částečná elektrifikace). Právě výstavba komerční zóny přinesla možnost získání potřebných zdrojů, které umožnily kompletní rekonstrukci (Temelová, 2008).

Dobřejovice:

Jižně od Průhonic leží Dobřejovice. Jedná se o obec s především s rezidenční zástavbou, kde většinu služeb (školství, zdravotnictví, obchod...) zajišťují sousední obce (ÚP Dobřejovice)

Relativní blízkost hl. města Prahy (nyní i dostupnost z nově vystavěné jižní části silničního okruhu) nabízí ale velmi dobré podmínky pro rozvoj bydlení (viz vývoj obyvatel, tab. 2). Během sledovaného časového horizontu zde také došlo pouze k rozvoji rezidenční zástavby, převážně v jihovýchodní části obce. I když se obec stala, co se bydlení týče, v posledních letech vyhledávaným místem, rozvoj další výstavby by měl být ale v budoucnu z části omezen, a to z důvodu výskytu velmi kvalitních půd, které nelze vyjmout ze zemědělského půdního fondu a nelze na nich stavět (viz následující kapitola).

Modletice:

Obec Modletice se nachází nedaleko Dobřejovic, na jižní straně pražského okruhu. Od této obce se odtrhla od roku 1991 (Bromová, 2010). Na rozdíl od Dobřejovic, nenabízí tato obec tak atraktivní prostředí pro rozvoj bydlení, za to zde mezi lety 1994 a 2007 došlo k velmi masivní výstavbě, hlavně komerčních ploch. Z důvodu tehdejší absence územně plánovací dokumentace, byla tato výstavba značně nekoordinovaná, bez koncepce dopravního napojení a zásady uplatnění zeleně. V roce 2002 došlo tedy ke zpracování nového územního plánu, který má za cíl usměrnit rozvoj tohoto území (ÚP Modletice).

Jažlovice:

Jažlovice jsou malá obec nacházející se necelé 4 km jihozápadně od města Říčany, ke kterému administrativně náleží. Stejně jako u obce Modletice, došlo i v této obci k masivnímu nárůstu komerční výstavby. Jedná se o obchodní a průmyslovou zónu Jažlovice-Zděbrady, která je propojena s komerčními plochami v sousedních Modleticích. Naopak plocha rezidenční zástavby se během sledovaného časového horizontu nezměnila. Důvodem může být pro budoucí obyvatele velmi nepříznivá poloha v těsné blízkosti dálnice D1, od které obec dělí pouze protihluková zeď.

5.2 Použitá data a metody jejich zpracování

V práci byla použita data z několika různých zdrojů. Z katedry Aplikované geoinformatiky a kartografie (KAGIK) byly získány dvě vektorové sady dat pro oblasti Průhonice-Čestlice a Dobřejovice-Modletice-Jažlovice, reprezentující obce ve třech časových horizontech (1994, 1997, 2007), resp. 1994, 2000 a 2007 pro druhou sadu dat. Dále byla poskytnuta data ZABAGED (Základní báze geografických dat), ze které byla později využita vrstva vrstevnic.

Krajský úřad Středočeského kraje poskytl georeferencovaná data ve formátu *.jpg, zobrazující územní plány (ÚP) těchto obcí, ve všech případech bohužel již neaktuální. Pro účely práce bylo ale nutné mít tato data v rastrovém nebo vektorovém formátu. Protože vektorizace všech ÚP by

byla velmi časově náročná, a mohlo by dojít k nepřesnostem, bylo v každé obci požádáno o vektorová nebo rastrová data. Ta se nakonec podařilo získat. Průhonice a Modletice ve formátu DGN, ostatní ve formátu SHP. Jelikož se ale jednalo pouze o data liniová a bez atributů, bylo nutné před samotným použitím tato data upravit. K tomu posloužily aktuální ÚP stažené na internetových stránkách obcí a georeferencované podle podkladů získaných ze Středočeského kraje. Zkombinováním těchto tří podkladů, vznikla jednotná vektorová vrstva zobrazující aktuální ÚP všech pěti požadovaných obcí.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) pro studijní účely poskytl informace o BPEJ (bonitované půdně ekologické jednotky). BPEJ je pětimístný kód, který nese informace o zemědělské půdě. Na základě BPEJ lze určit půdní typ, hloubku půdy, její skeletovitost, expozici, sklonitost a klimatický region, ve kterém se pozemek nachází. Každý kód náleží podle vyhlášky Ministerstva životního prostředí do jedné z pěti tříd ochrany půd. Podle této vyhlášky (<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-48>) byla v zájmovém území zemědělská půda do jednotlivých tříd zařazena.

Třídy ochrany jsou definovány následovně:

- I. Bonitně nejvyšší půdy, které je možno odejmout ze zemědělského půdního fondu pouze výjimečně
- II. Zemědělské půdy s nadprůměrnou produkční schopností, podmíněně využitelné pro stavební účely
- III. Půdy s průměrnou produkční schopností, které je možné využít v územním plánování pro výstavbu a jiné nezemědělské způsoby využití.
- IV. Půdy s podprůměrnou produkční schopností, jen s omezenou ochranou, využitelné pro výstavbu a i jiné nezemědělské účely.
- V. Mělké, skeletovité a jiné půdy s podprůměrnou produkční schopností, ve většině případů postradatelné pro zemědělské využití.

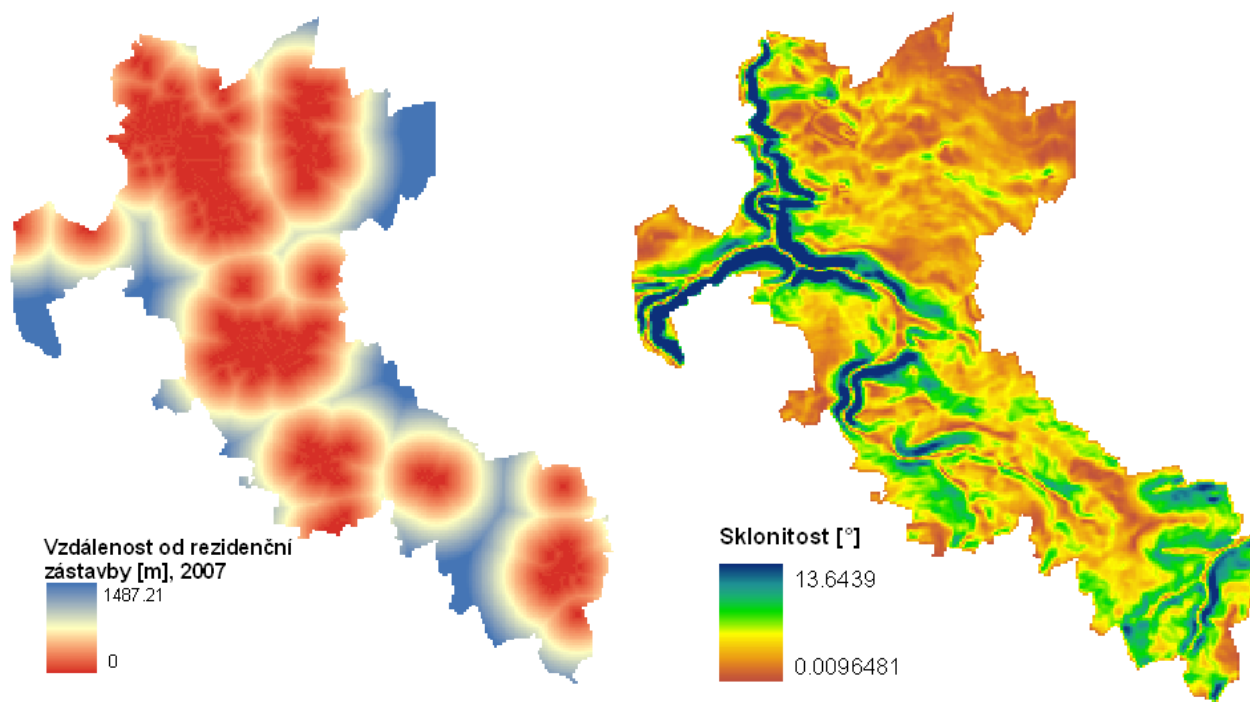
Pro účely práce byly třídy 2-5 sloučeny a vznikla vrstva zahrnující území, které je možné využít pro výstavbu (třídy 2-5). První třída zahrnuje území s nejkvalitnějšími půdami, kde je zástavba zakázaná. Toto rozdělení ukazuje obrázek v příloze 1.

Většina úprav vstupních dat byla provedena v software ArcGIS 9.3. Hlavní úpravou prošly vektorové sady dat získané z KAGIK. Pro další zpracování byly použity pouze časové horizonty z roku 1994 a 2007. Nejprve byla data spojena do jedné vektorové vrstvy a dále byly sloučeny některé kategorie původní legendy. Z původních 17 kategorií bylo vytvořeno sedm, a to staveniště, rezidenční zástavba, komerční zástavba, silnice, zemědělská půda a louky, les

a vodní plochy. Nakonec byla data převedena do rastrového formátu pomocí funkce Polygon to Raster. Na obr. 8 je vyobrazena konečná podoba zpracovávaného území v roce 1994 a 2007.

Dalším krokem bylo vytvoření map již zmiňovaných faktorů (driving factors), a omezení (constraints) popsanych v kapitole 3.1.1. V programu ArcGIS byly za použití ArcToolboxu vytvořeny následující faktory:

1. Vzdálenost od rezidenční zástavby v roce 2007 (Euclidean distance), obr. 9
2. Vzdálenost od komerční zástavby v roce 2007 (Euclidean distance), příloha 1
3. Vzdálenost od silnic v roce 2007 (Euclidean distance), příloha 2
4. Vzdálenost od nedostavěných komerčních ploch v roce 2007 (Euclidean distance), příloha 2
5. Vzdálenost od nedostavěné rezidenční zástavby v roce 2007 (Euclidean distance), příloha 3
6. Nadmořská výška-DMT (z vrstvy vrstevnic (výškový krok 2 m), pomocí interpolační funkce Topo to Raster), příloha 3
7. Sklon (vytvořený z DMT pomocí funkce Slope), obr. 9



Obr. 9 Vzdálenost od rezidenčních ploch, Sklonitost

Tyto faktory vstupovaly ve stejné podobě do modelování v obou programech. Implementace jednotlivých omezení vypadala odlišně v obou programech – viz následující kapitoly. V obou případech byla ale teoreticky určena takto:

1. Zákaz přeměny půdy 1. kategorie třídy ochrany – nová výstavba nepovolena
2. Zákaz přeměny lesa a vodních ploch – nová výstavba nepovolena
3. Zákaz přeměny již zastavěného území v jiné kategorie krajinného pokryvu

5.3 LAND CHANGE MODELER (LCM)

Jak již bylo řečeno, LCM není samostatný program, ale je součástí softwaru IDRISI, popř. existuje jako rozšíření do programu ArcGIS 9.3. V práci byl většinou použit program IDRISI Selva, jehož 30 denní zkušební verze byla získána z oficiálních stránek tvůrců programu (<http://clarklabs.org/products/IDRISI-trial-version.cfm>). Na KAGIK pak bylo k dispozici zmíněné rozšíření.

Rastrová data, se kterými program IDRISI a tedy i LCM pracuje, vyžadují speciální rastrový formát (*.rst), který se ovšem liší od formátu, který používá program ArcGIS. Proto je nutné data do programu importovat přes formát ASCII, který je již možné v ArcGIS vytvořit (funkce Raster to ASCII).

Další postup již odpovídal krokům popsaným v kapitole 4.1. Nejprve byla provedena základní analýza změn, které se v zájmovém území během sledovaného časového horizontu odehrály. Poté byly určeny tři sub-modely a pro každý z nich byly vytvořeny mapy potenciálu. Následně byla v kroku Plánování definována jednotlivá omezení a upřednostnění budoucího vývoje. Nakonec byla pomocí „hard“ predikce vytvořena mapa krajinného pokryvu pro rok 2020.

5.3.1 Analýza změn

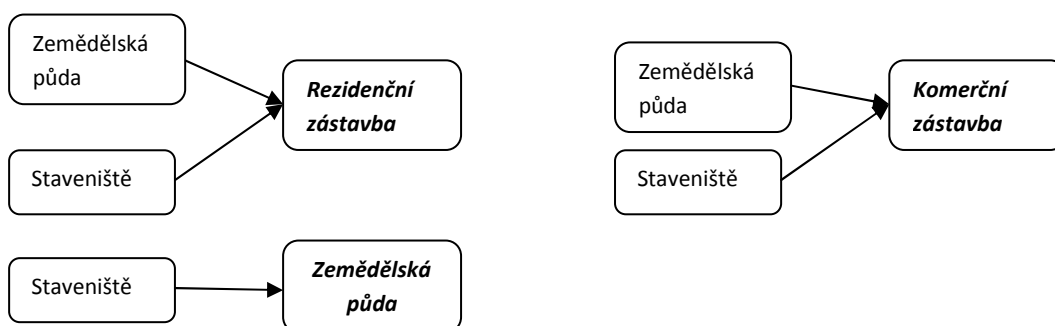
Před samotným začátkem modelování je nejdříve nutné nadefinovat nový projekt a vložit dva rastry krajinného pokryvu z různých časových období (v tomto případě z roku 1994 a 2007). Pro zpřesnění modelu byla ještě použita rastrová mapa silniční sítě a digitální model terénu (viz přílohy 3 a 4).

Po vložení těchto dat byla provedena základní analýza zájmové oblasti, která se týkala především těch největších změn, které se v oblasti za sledovaný časový horizont odehrály. Jednalo se tedy hlavně o nárůst zástavby (rezidenční i komerční) na úkor zemědělské půdy.

5.3.2 Potenciál přeměny

Tato část modelování zahrnuje velmi důležité kroky, jejichž vyústěním jsou mapy, zobrazující potenciál přeměny z jednoho typu krajinného pokryvu na druhý. Tyto mapy jsou pak použity při samotné predikci.

Prvním krokem je definování tzv. sub-modelů. Každý sub-model zahrnuje přeměny různých typů krajinného pokryvu na jeden vybraný. V práci byly definovány tři sub-modely (rezidenční zástavba, komerční zástavba, zemědělská půda), jejichž schéma je zobrazeno na následujícím obrázku:



Obr. 10 Sub-modely použité v LCM, Zdroj: Autor

Použití jednotlivých sub-modelů je nutné, aby bylo možné určit samostatný vývoj některých kategorií, v tomto případě tedy rezidenční a komerční zástavby. Sub-model zemědělská půda byl přidán z důvodu ochrany půd. Podle tříd ochrany bylo zjištěno, že v roce 2007 byla rozestavěná plocha v oblastech nejvyšší ochrany, která by za ideálních podmínek neměla být vyjmuta ze zemědělského půdního fondu. Nadefinováním tohoto sub-modelu bylo v dalších krocích možné určit přeměnu těchto ploch zpět na zemědělskou půdu.

Pro každý sub-model pak byly definovány faktory (tab. 3), které mohou tuto přeměnu ovlivnit.

Tab. 3. Použité faktory v sub-modelech

Sub-model	Použité faktory
Rezidenční zástavba	Vzdálenost od silnic Vzdálenost k rezidenční zástavbě Vzdálenost od nedostavěné rezidenční zástavby Nadmořská výška Sklonitost
Komerční zástavba	Vzdálenost od silnic Vzdálenost ke komerční zástavbě Vzdálenost od nedostavěných komerčních ploch Nadmořská výška Sklonitost

Zemědělská půda	Nadmořská výška Sklonitost
------------------------	-------------------------------

U kategorie rezidenční zástavba bylo určeno pět faktorů, a to nadmořská výška, sklonitost, vzdálenost k silnicím a k již existující rezidenční zástavbě, a vzdálenost k nedostavěné rezidenční zástavbě. Nedostavěná rezidenční zástavba byla určena buď z územního plánu, nebo ze samotného umístění staveniště.

Kategorii komerční zástavba bylo přiřazeno také pět faktorů, a to opět sklonitost, nadmořská výška a vzdálenost k silnicím, a dále vzdálenost k již existující komerční zástavbě a vzdálenost k nedostavěné komerční zástavbě.

U zemědělské půdy byla použita pouze sklonitost a nadmořská výška. Tato kategorie není v práci primárně modelována a sub-model byl definován pouze z důvodu ochrany půd.

Dále je možné definovat, zda jsou použité faktory statické (s časem se nemění) či dynamické (mohou se s časem měnit). Jako statické byly označeny faktory sklonitost a nadmořská výška, jako dynamické všechny ostatní.

Vhodnost všech faktorů lze předem otestovat pomocí Cramerova koeficientu (Cramerovo V), který v obecném případě udává korelaci (sílu závislosti) mezi veličinami v tabulce o více než dvou řádcích a dvou sloupcích. V tomto případě koeficient vyjadřuje, jak moc dobře jednotlivé faktory vysvětlují výskyt jednotlivých kategorií krajinného pokryvu. Celkový koeficient je pak jejich průměrem. Pokud je tento průměr vyšší než 0,4, vybraný faktor se považuje za velmi signifikantní a důležitý, pokud je hodnota mezi 0,15-0,4, nemá faktor tak dobré vysvětlující vlastnosti, ale je dobré ho také použít. Nižší hodnoty poukazují na faktor, který není v modelu nijak potřebný, a je možné ho z modelu odejmout (převzato z nápovědy programu Idrisi Selva).

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1, LCM nabízí pro vytvoření těchto map tři přístupy. Pokud ale definované sub-modely obsahují přeměny z více kategorií, je nutné vždy zvolit vícevrstvou neuronovou síť, neboli MLP (multi-layer perceptron neural network). Z tohoto důvodu byly pak mapy potenciálu vytvořeny právě pomocí neuronové sítě.

Při zahájení MLP byl v tomto případě jako vstupní množina zvolen náhodný výběr z nezměněných i změněných pixelů z období 1994-2007. Pro každý sub-model byly vybrány pixely z těch kategorií krajinného pokryvu, které byly v sub-modelu zahrnuty. Např. pro sub-model zemědělská půda byly určeny dva druhy pixelů. Jednak pixely, které zůstaly po celou dobu v kategorii staveniště a dále pak pixely, které se za sledované období změnilly na zemědělskou půdu. Analogicky byly vstupní množiny definovány i u ostatních sub-modelů.

Celkem bylo vytvořeno pět map potenciálu. Dvě mapy patří sub-modelu Rezidenční zástavba (potenciál přeměny zemědělské půdy na rezidenční zástavbu a potenciál přeměny staveniště na rezidenční zástavbu), analogicky dvě mapy v sub-modelu komerční zástavba

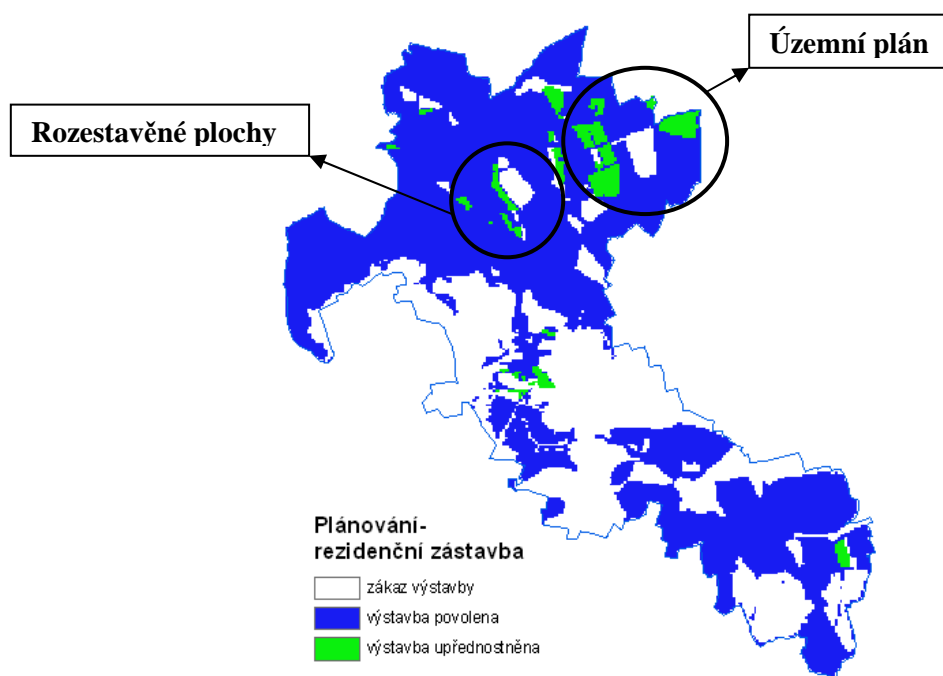
(potenciál přeměny zemědělské půdy na komerční zástavbu a potenciál přeměny stavenišť na komerční zástavbu) a jedna mapa patřící sub-modelu Zemědělská půda (potenciál přeměny stavenišť na zemědělskou půdu).

5.3.3 Plánování

Krok plánování je nepovinnou součástí celého procesu, ale pro dosažení kvalitnějších výsledků bylo využito této možnosti, kterou LCM nabízí. Z tohoto velmi obsáhlého modulu byla použita pouze jeho první část, a to definování omezení a oblastí přednostně určených k přeměně.

Pro každý se tří definovaných sub-modelů byly v programu ArcGIS vytvořeny speciální mapy, které byly v tomto modulu použity (obr. 11, příloha 7). Jednotlivé mapy obsahují pouze oblasti s hodnotou nula nebo jedna a několik oblastí s hodnotou mírně větší než jedna (např. 1.1 apod.).

Místa označená nulou, jsou oblasti, které mají zůstat ve stejné kategorii jako v roce 2007. Jedná se tedy o lesní porosty, vodní plochy, rezidenční a komerční oblasti a silnice. Dále byly na základě BPEJ přidány oblasti zemědělské půdy, které se nacházejí v první třídě ochrany půd (kap. 5.2).



Obr. 11 Plánování, sub-model Rezidenční výstavba

Tato omezení byla určena shodně u map, týkající se rozvoje zástavby. Ty se lišily v místech, označených hodnotami jedna a hodnotami mírně přesahující jedničku. U sub-modelu Rezidenční zástavba byla hodnotami 1.1 označena ta místa, kde je podle územního plánu

počítáno s novou rezidenční výstavbou, a místa rozestavěných ploch, která jak dle územních plánů, tak dle jejich umístění budou pravděpodobně přeměněna na rezidenční zástavbu. Analogicky byly tyto oblasti označeny u sub-modelu Komerční zástavba. U posledního sub-modelu Zemědělská půda byly těmito hodnotami určeny ty rozestavěné plochy, které se nacházejí v první třídě ochrany půd a měly by za ideálních podmínek zůstat využity jako zemědělská půda. Zbylé oblasti byly označeny hodnotou jedna. Tyto mapy během simulace pomáhají určit prostorové rozmístění změn, které je jinak dáno mapami potenciálu, vytvořenými v předchozím kroku. Mají za úkol zvýšit potenciál přeměny, vypočtený pouze na základě historických dat.

5.3.4 Predikce změn

Predikce změn sestává minimálně ze dvou kroků. Prvním z nich je definování matice přechodu. V tomto případě je možné využít Markovův řetězec (kap. 3.2.1) nebo matici určit pomocí jiného, externího modelu. V práci byl použit původně nastavený Markovův řetězec. Pomocí této metody je na základě vstupních dat krajinného pokryvu a map potenciálu určeno množství změn v predikovaném období. Procedura určí, kolik pixelů bude v budoucnosti změněno a vytvoří dvě matice přechodu. První obsahuje množství pixelů, u kterých je očekávaná změna (příloha 8), a druhá jednotlivé pravděpodobnosti změn jedné kategorie krajinného pokryvu na druhý.

Původní matice je zobrazena v příloze 8, v tabulce 4 je pak matice upravená. Tyto úpravy byly provedeny z důvodu dosažení kvalitnějších výsledků (více kap. 6.1). U červeně označených transformací byla hodnota zvýšena, u modře označených naopak snížena. Snížení bylo provedeno především z důvodu zachování správného součtu (jedna) v každém řádku.

Tab. 4 Matice přechodu, pravděpodobnost přeměny

Z \ Na	Staveniště	Rezidence	Komerce	Silnice	Zemědělská půda	Les	Vodní plochy
Staveniště	0.0000	0.3590	0.3570	0.0040	0.2800	0.0000	0.0000
Rezidence	0.0000	0.9630	0.0165	0.0034	0.0171	0.0000	0.0000
Komerce	0.0000	0.0448	0.4788	0.0742	0.1144	0.0025	0.0000
Silnice	0.0000	0.0061	0.0664	0.7752	0.0323	0.0040	0.0000
Zemědělská půda	0.0080	0.0450	0.1095	0.0125	0.8204	0.0027	0.0019
Les	0.0000	0.0006	0.0000	0.0003	0.0219	0.9759	0.0014
Vodní plochy	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	0.0172	0.9785

Z tabulky vidíme, že ani kombinace jako les → vodní plochy nemají nulovou pravděpodobnost. To může být způsobeno malou nepřesností ve vektorizaci dat DPZ. Tyto

„nesmyslné“ přeměny, bylo samozřejmě možné také editovat a nastavit na nulu. Ovšem jak je vidět z tabulky v příloze 7 (předpokládané změny, počet pixelů), s takovými přeměnami (díky definování sub-modelů) program i tak nepočítá, proto nebylo třeba tyto malé změny editovat.

Druhým krokem tohoto modulu je alokace změn. Zde je možné určit několik dalších výstupů, které budou vytvořeny. Je možné například určit více fází predikce. Pokud je definováno více fází než jedna, všechny faktory, které jsou v kroku dva označeny jako dynamické, jsou pak dvakrát přepočítány. Následně lze pak vytvořit video ve formátu *.avi, na kterém je vývoj oblasti po jednotlivých fázích zachycen. Obě tyto možnosti však mnohem více zatěžují počítač a zpomalují samotný výpočet. Z tohoto důvodu, a také z důvodu velmi krátkého předpovědního horizontu byla nakonec zvolena pouze jedna fáze a video tak nebylo vytvořeno.

Tímto byl celý proces přípravy modelu dokončen a bylo možné spustit predikci. V práci byla z důvodu pozdějšího porovnání s modelem Dyna-CLUE provedena pouze hard predikce. Výsledek je zobrazen na str. 61.

5.4 DYNA-CLUE

Při modelování v programu Dyna-CLUE je především důležité striktně dodržet požadovaný formát dat.

Data musejí být stejně tak jako u LCM rastrová, se stejnou rozlohou a velikostí pixelu, která byla u všech dat 27x27 m (ponecháno automatické nastavení ArcGIS). Pro nahrání připravených dat do Dyna-CLUE je nutné je opět nejprve převést na ASCII formát. Všechna použitá data pak musejí být uložena ve stejné složce, kam byl instalován program Dyna-CLUE.

5.4.1 Hlavní parametry

Nejdůležitějším souborem v Dyna-CLUE jsou tzv. hlavní parametry (main parameters). Jedná se o dvacetřádkový textový soubor s názvem *main. 1*, ve kterém jsou uloženy nezbytné informace o zpracovávaném území i o dalších vstupních, ale i výstupních datech. Nastavení všech parametrů zobrazuje tabulka 5.

Tab. 5 Dyna-CLUE- Hlavní parametry

Rádek	Popis	Formát	Nastavení
1	Počet kategorií krajinného pokryvu	Integer	7
2	Počet regionů	Integer	1
3	Nejvyšší počet nezávislých proměnných	Integer	5
4	Počet faktorů	Integer	10

5	Počet řádků	Integer	282
6	Počet sloupců	Integer	254
7	Velikost buňky	Float	0.0729
8	X souřadnice levý dolní roh	Float	-735977.9179
9	Y souřadnice levý dolní roh	Float	-1059998.7195
10	Kódování krajinných typů	Integer	0 1 2 3 4 5 6
11	Elasticita	Float	0.3 1 1 1 0 1 1
12	Iterační proměnné	Float	0 0.5 3
13	Začátek a konec simulace	Integer	2007 2020
14	Počet a kódování faktorů měnících se každý rok	Integer	0
15	Formát vstupů a výstupů	Integer (1,0,-2, 2)	3
16	Regrese-více regionů	Integer (0,1, 2)	0
17	Historie vývoje krajinného pokryvu	Integer (0,1, 2)	1 50
18	Zařazení sousedních buněk	Integer (0,1, 2)	0
19	Preferenční umístění	Integer	1 0 0.8 0.8 0 1 0 0
20	Iterační parametr	Float	0.05

- Počet kategorií krajinného pokryvu, tedy počet prvků v legendě. Jak již bylo zmíněno výše, v modelovém území bylo rozlišeno sedm typů krajinného pokryvu. Pro potřeby modelování v Dyna-CLUE byly tyto kategorie očíslovány postupně jako 0-staveniště, 1-rezidenční zástavba, 2-komerční zástavba, 3-silnice, 4-zemědělská půda, 5-les, 6-vodní plochy (**řádek 10**).
- Počet regionů je předem nastaven na 1, což ve většině případů odpovídá realitě. Dyna-CLUE ale nabízí modelování oblasti do několika částí, které se pak zpracovávají nezávisle. S tím souvisí **řádek 16**, ve kterém 0 odpovídá 1 regionu.
- Tento řádek udává maximální počet faktorů, které vstupují do regresní rovnice. V celém modelu bylo použito deset faktorů (**řádek 4**), z nichž v regresní rovnici figurovalo maximálně pět z nich. Sedm faktorů vyjmenovaných v předchozí kapitole, a tři faktory použité v matici přechodu (kap. 5.3.5). Všechny faktory musí být uloženy pod názvem *sc1gr*.fil*, kde * označuje číslo faktoru.
- Počet pixelů v řádku a v sloupci (**řádek 6**). Všechny rastrové soubory, vstupující do simulace musí mít samozřejmě stejný počet řádků i sloupců.
- Velikost pixelu, tentokrát v hektarech. Protože rozlišení pixelu bylo 27m, celý pixel má plochu $729\text{m}^2 = 0,0729$ ha.
- Na řádcích 8 a 9 jsou rohové souřadnice území, zjištěné z ASCII souborů vytvořených v programu ArcGIS.
- Tzv. pružnost přeměny (conversion elasticities). Jedná se o číslo mezi 0 a 1, které postupně určuje možnost přeměny každého typu krajinného pokryvu. 0 znamená, že pro tento typ jsou

povoleny všechny změny, tedy že pixel této kategorie může být odstraněn z původního místa a umístěn na jinam ve stejném čase (např. zemědělská půda). 1 naopak znamená, že tento typ pokryvu nemůže být odstraněn a přidán ve stejném časovém okamžiku (především takové krajinné prvky, které jsou v čase stabilní – budovy, lesy, vodní plochy...).

12. Řádek se třemi čísly, která nastavují konvergenční kritéria. První číslo udává, zda jsou kritéria vyjádřena v procentech (0) nebo v hektarech (1). Druhé číslo udává průměrnou odchylku od požadovaných změn a změn určených iteracemi. Poslední číslo je maximální odchylka mezi požadovanými změnami a aktuálními změnami, určenými v jednotlivé iteraci. Další iterační parametr (*řádek 20*) je hodnota mezi 0,001 a 0,1. Zde byla ponechána přednastavená hodnota 0.05.
15. Číslo 3 v tomto řádku znamená, že jednotlivé výstupy budou ve formátu *.asc, který lze následně v programu ArcGIS snadno převést na formát rastrový (funkce ASCII to Raster). V tomto případě i všechny vstupní soubory, obsahující převedená rastrová data musí mít tuto koncovku.
17. Čísla vztahující se k historickému vývoji dané oblasti. Protože dřívější historie není známa a predikovaný časový horizont není příliš dlouhý, bylo nastaveno číslo 1 udávající každému pixelu náhodný počet let, po které se pod ním vyskytoval daný typ krajinného pokryvu. Druhé číslo udává max. dobu, která je vygenerována. Použití této speciální mapy by bylo vhodnější např. při modelaci sukcesního vývoje.
18. Tento řádek nastavuje použití regresních výsledků, souvisejících s vlivem sousedních buněk na vývoj daného území. (tzv. mírou vhodnosti sousedních buněk). Protože tato část nebyla v modelu využita, bylo vloženo číslo 0.
19. Pomocí tohoto řádku je možné specifikovat budoucí rozmístění krajinného pokryvu podle přání uživatele. První číslo (1) aktivuje použití těchto speciálních map, další čísla udávají, o kolik bude při výpočtech zvýšena pravděpodobnost (určena z logistické regrese) umístění určitého typu krajinného pokryvu. Více o těchto mapách a jejich funkci pojednává kap. 5.3.6.

5.4.2 Logistická regrese

Nezbytnou součástí modelování v programu Dyna-CLUE je výpočet parametrů logistické regrese. Jak již bylo řečeno, logistická regrese se zabývá odhadem pravděpodobnosti jevu y (závislá proměnná) na základě nezávislých proměnných, který výskyt jevu y mohou ovlivnit. Tento výpočet byl proveden pro kategorie staveniště, rezidenční zástavba, komerční zástavba a zemědělská půda. S těmito kategoriemi bylo zacházeno jako se závislými proměnnými. Nezávislé proměnné (jednotlivé faktory, které mohou výskyt závislé proměnné ovlivnit), byly

každé kategorii určeny zvlášť. Pro všechny kategorie byly použity stejné faktory jako v případě modelování v LCM (kap. 5.3.2).

K výpočtu parametrů β_i byl použit software SPSS Statistics 19. Předtím ale musela být nejprve všechna potřebná data zkonvertována do správné podoby, tedy sloupce čísel obsahující pouze aktivní buňky, bez hodnot NoData. K tomu byla použita aplikace *convert.exe*, která byla nainstalována společně s Dyna-CLUE (příloha 9).

Po výpočtu koeficientů logistické regrese byly výsledky ověřeny metodou ROC (kap. 4.2).

5.4.3 Požadavky na využití území (Land use requirements)

Souborem obsahujícím požadavky na využití území lze v Dyna-CLUE definovat nejrůznější scénáře vývoje. Tento textový soubor pojmenovaný jako *demand.in1* obsahuje využití krajiny po dobu simulace. Pro každou kategorii krajinného pokryvu obsahuje 14 čísel (13 let simulace plus počáteční hodnoty), vyjadřující počet hektarů, které jednotlivé kategorie zaujímají. Celkové požadavky za každý rok se samozřejmě musejí rovnat velikosti celého zpracovávaného území.

Tento soubor byl vytvořen převážně na základě územních plánů, kdy bylo v programu ArcGIS zjištěno, o kolik pixelů se jednotlivá kategorie změní, pokud bude územní plán dodržen. Díky tomu byla stanovena přibližná hodnota pro rok 2020. Hodnoty mezi rokem 2007 a 2020 byly rovnoměrně rozpočítány. U kategorií les, vodní plochy a silnice byly hodnoty ponechány pro všechny roky stejné, protože u těchto kategorií nebyl vývoj povolen. Soubor je zobrazen v příloze 9.

5.4.4 Oblasti určené k simulaci

Tento soubor (*region1.fil*), spolu s *demand.in1* a se souborem hlavních parametrů tvoří základní trojici, nutnou k proběhnutí simulace.

Region1.fil je opět rastr ve formátu ASCII, se stejnými základními údaji jako ostatní mapové vstupy. Tedy velikost pixelu v tomto případě 27 m, stejný počet řádků a sloupců a totožné souřadnice, přesně podle údajů, z tabulky 5.

Tento rastr obsahuje pouze tři hodnoty pixelu, a to -9999, 0 a -9998. Hodnota -9999 je jako u ostatních vstupů hodnotou pro NoData, kterou automaticky generuje program ArcGIS. Jedná se tedy o okolí studované oblasti. Další dvě hodnoty určují, jaké buňky jsou určené k simulaci – tzv. aktivní buňky (0), a jaké ne (-9998). Tímto je v modelu umožněno zakázat vývoj na určitých místech. V modelu byly hodnoty -9998 použity pro označení takových oblastí, u kterých se nepředpokládá, anebo není žádoucí jejich změna během simulace. Jako takové

byly určeny vodní plochy, les, již zastavěná území (jak komerční, tak rezidenční plochy) a silnice. Dále byly s ohledem na BPEJ vybrány pozemky, které by za ideálních podmínek neměly být použity k výstavbě (viz kap. 5.2), a tyto oblasti byly označeny také kódem -9998. Příloha 10 ukazuje výsledný rastr.

5.4.5 Matice přechodu

Jak již bylo vysvětleno v kap. 4.2, matice přechodu indikuje povolené změny mezi jednotlivými typy krajinného pokryvu. V tomto případě se tedy jedná o matici o velikosti 7x7, kde řádky odpovídají současnému typu krajinného pokryvu, tedy v čase t , a sloupce typu krajinného pokryvu v čase $t+1$. Hodnota 1 v matici označuje povolenou přeměnu určitého typu krajinného pokryvu na jiný, hodnota 0 tuto přeměnu zakazuje.

Dále je v matici možné označit speciální místa pro přeměnu. Toho lze využít, jestliže v obecném případě tato přeměna není povolena, ale existují výjimky, nebo existují oblasti, kde k přeměně dojít může. Pro tyto oblasti je nutné vytvořit další speciální mapové vstupy, které jsou pak započteny jako další faktory. Matice s názvem *allow.txt* byla uložena do stejné složky jako ostatní soubory. Její podobu zobrazuje tab. 6.

Tab. 6 Matice přechodu

čas t+1 čas t	čas	Staveniště	Rezidenční zástavba	Komerční zástavba	Silnice	Zemědělská půda	Les	Vodní plochy
Staveniště	1	1	A	B	0	C	0	0
Rezidenční zástavba	0	0	1	0	0	0	0	0
Komerční zástavba	0	0	0	1	0	0	0	0
Silnice	0	0	0	0	1	0	0	0
Zemědělská půda	1	1	1	1	0	1	1	0
Les	0	0	0	0	0	0	1	0
Vodní plochy	0	0	0	0	0	0	0	1

Jak je vidět z tabulky 6, nejvíce povolených přeměn byla nastaveno u kategorie zemědělská půda, a to téměř na jakoukoliv jinou kategorii, kromě silnic a vodních ploch. Toto určení zcela vyplývá z mapy povolených oblastí z předchozí kapitoly, kde většina pixelů s označením 0, tedy pixelů určených k simulaci, byla právě této z kategorie.

Dále byla použita tři speciální místa pro přeměnu, všechny z kategorie staveniště. Protože jak z územního plánu, tak ze samotného umístění stavenišť v roce 2007 vyplývá, že některá z nich jsou nedostavěné rezidenční plochy a některá nedostavěná komerční zástavba, bylo nutné tyto kategorie oddělit. K tomu právě posloužily dva speciální faktory pojmenované jako *sc1gr2.fil*

(A) a *scIgr3.fil* (B). Použitím těchto mapových vstupů se pak kategorie staveniště může přeměnit na kategorii rezidenční nebo komerční zástavba pouze v místech, která jsou na mapě určena.

Podle tříd ochrany půd byl stejně jako u LCM ještě přidán faktor, který umožňuje na speciálních místech změnu ze staveniště na zemědělskou půdu (C).

Dyna-CLUE dále umožňuje pomocí matice přechodu nastavit dobu, po kterou má určitý typ krajinného pokryvu zůstat nezměněn. Zde mohou být rozlišeny dvě situace. První z nich je nastavení minimálního počtu let, po který musí určitý typ krajinného pokryvu přetrvat, než se přemění na jiný. Druhou možností je definovat maximální dobu, po kterou naopak může setrvat ve své aktuální podobě, pak se musí změnit na jiný. Tato možnost ale v práci nebyla využita, protože časový horizont modelování byl příliš krátký na takovéto odhady. Tuto funkci lze například dobře využít při modelování růstu lesních porostů nebo při střídání plodin v zemědělství.

5.4.6 Speciální požadavky na rozvoj území

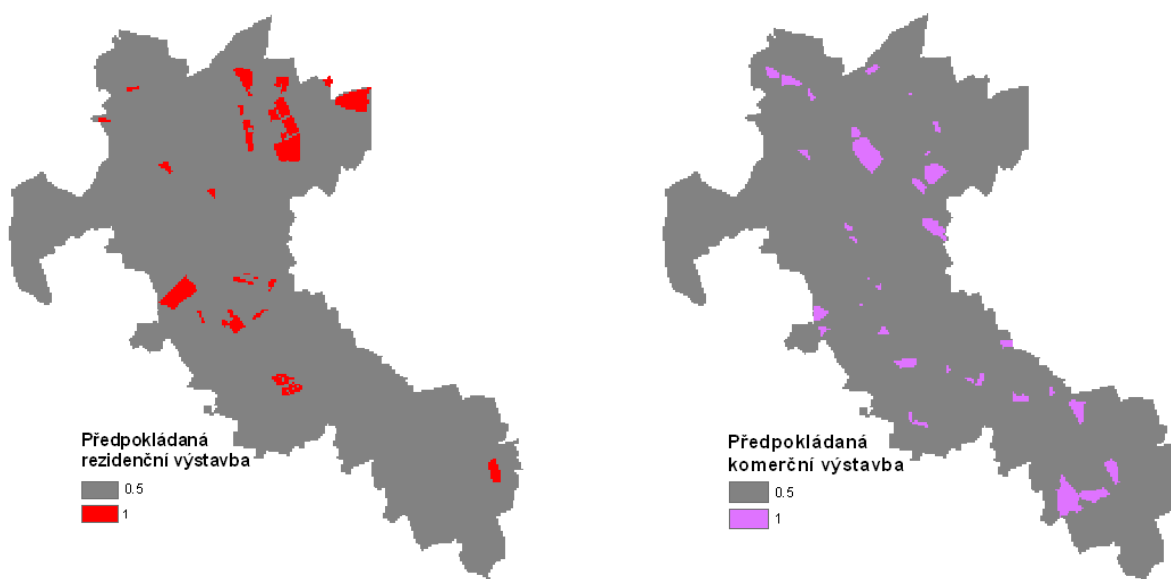
Mezi další velmi užitečné soubory patří mapové vstupy, označující oblasti, kde by mělo dojít k jisté změně s větší pravděpodobností, než v jiných oblastech. Tuto možnost lze využít v případě, kdy je v určitých místech očekáván vývoj krajiny. V obecném případě je rozhodnutí, zda jednotlivé pixely změni hodnotu dáno především výsledky regrese a uživatelem určených faktorů. Použitím tohoto souboru lze pak těmto místům přiřadit ještě větší pravděpodobnost, že k požadovaným změnám opravdu dojde.

Mapové vstupy, obsahující čísla v intervalu 0-1 je nutné vytvořit pro každý typ krajinného pokryvu zvlášť. Čím vyšší hodnota, tím je v závěru pravděpodobnější, že bude požadovanému místu přiřazen daný typ krajinného pokryvu. Číslo uvedené v rastru je totiž přičteno k výsledkům z logistické regrese. Jednotlivé soubory musí být pojmenované jako *locspec#.fil*, kde # označuje kód krajinného pokryvu. Pokud jsou tyto vstupy použity, je nutné v souboru s hlavními parametry upravit řádek 19 (viz tab. 5).

V práci byly, opět jako u LCM (kap. 5.3.3), použity tyto soubory (obr. 12) pro rozvoj zástavby (rezidenční i komerční) na základě územních plánů a rozestavěných ploch. Byly tak celkem vytvořeny tři rastry. Dva obsahující hodnoty 1, kde má dojít k výstavbě a hodnoty 0.5 ve zbytku území.

Třetí rastr, týkající se přeměny stavenišť zpět na zemědělskou půdu byl vytvořen především kvůli místům, nacházejícím se v blízkosti zástavby. Tato místa mají totiž velkou pravděpodobnost, že se změni na zástavbu. Proto byla vytvořena tato speciální mapa, která

zvýšila pravděpodobnost jejich změny zpět na zemědělskou půdu. Vybrané nedostavěné plochy byly v rastru označeny hodnotou jedna, ostatní pak hodnotou nula (příloha 10).



Obr. 12 Předpokládaná rezidenční a komerční výstavba

5.4.7 Výpočet pravděpodobnostních map

Na základě výsledků z logistické regrese nabízí Dyna-CLUE výpočet tzv. pravděpodobnostních map. Tyto mapy mohou být vypočteny pro každý typ krajinného pokryvu, pro který byla logistická regrese provedena. Jedná se tedy o kategorie, jejichž vývoj je ovlivněn určitými definovanými faktory. Mapy ve výsledku obsahují čísla mezi nulou (území nepovolená k simulaci) a jedničkou, která udávají pravděpodobnost rozšiřování daného typu krajinného pokryvu. Pokud jsou v modelu definovány mapové vstupy popsané v předešlé podkapitole, mohou se ve výsledných mapách objevovat i čísla větší než jedna.

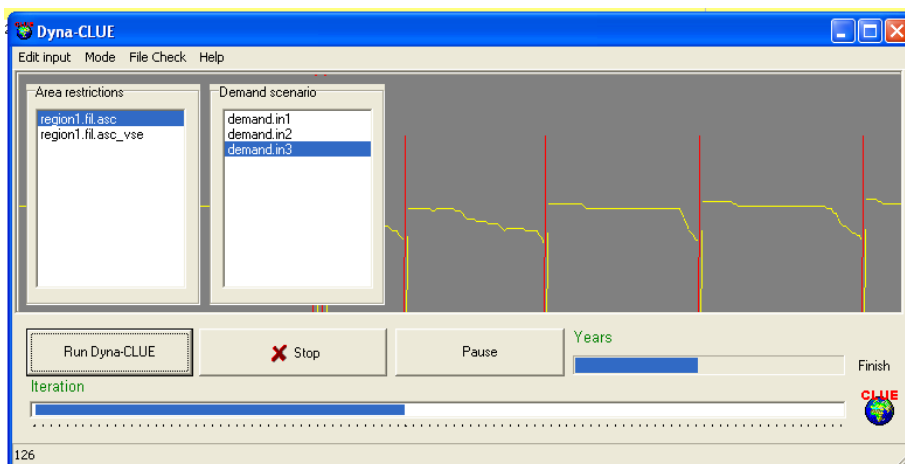
Protože je práce zaměřená na rozšiřování zástavby, tyto mapy byly vypočteny pro kategorie rezidenční a komerční zástavba.

5.4.8 Použití modelu

Uživatelské rozhraní u Dyna-CLUE je poměrně velmi jednoduché a nenabízí mnoho možností k úpravám vstupních dat (obr. 13). V programu lze pouze upravit základní textové soubory, jako je matice přechodu či soubor s hlavními parametry.

Aby mohla být simulace spuštěna, je pouze nutné v okně „Area restriction“ vybrat mapový vstup zobrazující území povolené k simulaci (kap. 5.3.4) a ve vedlejším okně „Demand scenario“ vybrat textový soubor s požadavky na využití území (kap. 5.3.3). Pokaždé, když

iterační proces dokonverguje k uspokojivému výsledku (dosáhne povolené odchylky mezi vypočtenými a určenými parametry), postoupí simulace o jeden rok dopředu. Jak také ukazuje obr. 13, celý průběh lze sledovat.



Obr. 13. Uživatelské rozhraní Dyna-CLUE, iterační proces

Během simulace Dyna-CLUE vytváří mapové výstupy zobrazující stav krajinného pokryvu za každý predikovaný rok. Pro rok 2020 program došel k výsledku, který zobrazuje obr. 20.

Kromě mapových výstupů generuje Dyna-CLUE také textový soubor z názvem *log.fil*, ve kterém jsou zaznamenány údaje o celém průběhu simulace. Pro každý rok soubor obsahuje 17 sloupců. První z nich je číslo iterace, dalších sedm sloupců jsou vypočtené rozlohy jednotlivých typů krajinného pokryvu, následuje sedm sloupců iteračních parametrů, a poslední dva sloupce jsou průměrná odchylka a maximální povolená odchylka od požadované rozlohy. Pokud tyto odchylky dosáhnou hodnot uložených v souboru hlavních parametrů (řádek 12), iterační proces pro tento rok končí a začíná nový pro rok následující. Část tohoto souboru zobrazuje příloha 11.

KAPITOLA 6

Výsledky a jejich hodnocení

Tato kapitola je věnována dosaženým výsledkům, jejich vzájemnému porovnání a jejich hodnocení z hlediska přesnosti. Nejprve jsou uvedeny jednotlivé mezivýsledky z obou softwarů. Dále jsou porovnány obě predikované mapy a je zhodnocena jejich přesnost. Konec kapitoly je věnován kritickému hodnocení obou použitých modelů, jak z hlediska uživatelského, tak z hlediska funkčního.

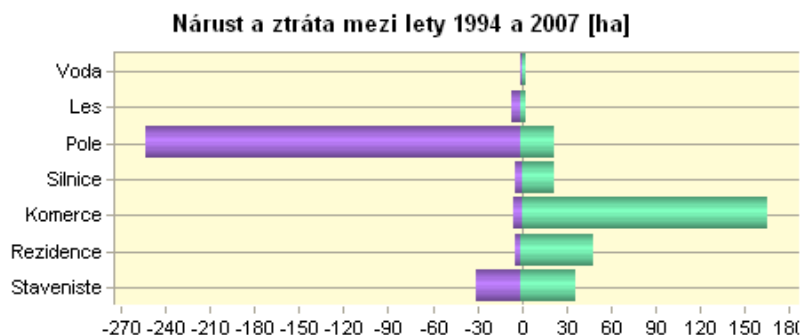
6.1 Vedlejší produkty simulace v LCM

V této kapitole jsou uvedeny mezivýsledky, které byly obdrženy v jednotlivých krocích modelování, které předcházely samotné predikci. Jedná se tedy o výstupy z Analýzy změn a Potenciálu přeměny.

6.1.1 Změny krajinného pokryvu mezi lety 1994 a 2007

Následující dva grafy (obr. 14 a 15) ukazují, k jakým změnám během sledovaného časového horizontu došlo. Je patrné, že nejvíce se změny projevíly v kategoriích zemědělská půda („pole“) a v kategorii komerční zástavba („komerce“).

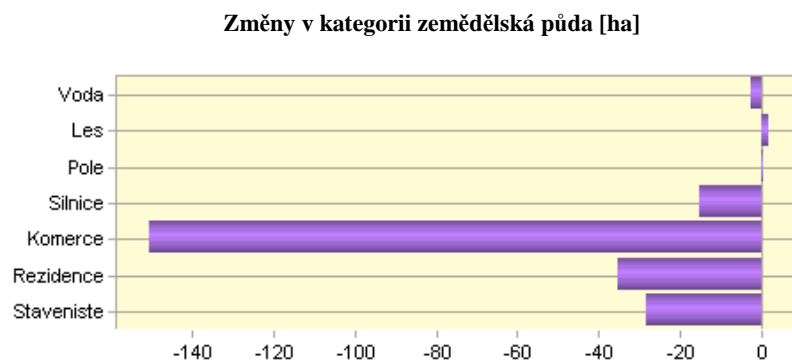
Zatímco komerční plochy zaznamenaly nárůst o více než 150 ha, u kategorie zemědělská půda vidíme úbytek o více než 240 ha, což vzhledem k původním 750 ha tvoří čtvrtinu její rozlohy v roce 1994.



Obr. 14 Nárůst a ztráta ve všech kategoriích

Tento trend je patrný i ze samotných map krajinného pokryvu, které jsou zobrazeny na str. 37.

Důvodem je především výstavba komerčních ploch mezi obcemi Modletice a Jážlovice a samozřejmě také komerční zóna Průhonice-Čestlice.



Obr. 15 Změny na úkor kategorie zemědělská půda

Není překvapivé, že je to právě kategorie komerční zástavba, která se na úkor kategorie zemědělská půda rozrostla nejvíce (obr. 15). Zástavby rezidenční přibýlo v oblasti o mnoho méně, pouze kolem 40 ha.

6.1.2 Mapy potenciálu

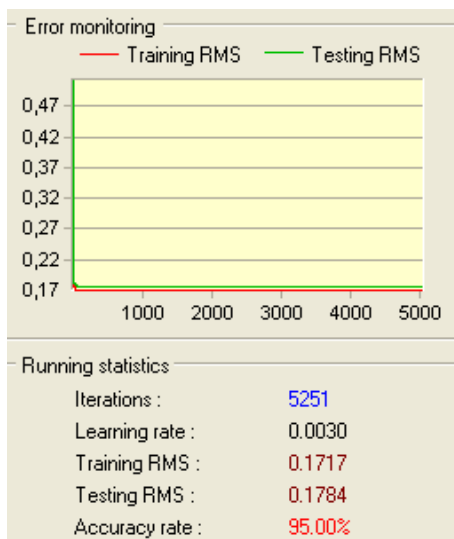
Při vytváření map potenciálu LCM pracuje také s definovanými faktory. Ty byly definovány pro každý sub-model. Jak již bylo popsáno v kap. 5.3.2, vhodnost těchto faktorů byla otestována pomocí Cramerova koeficientu. Výsledné koeficienty udává následující tabulka (tab. 7).

Tab. 7 Cramerovy koeficienty jednotlivých faktorů

Faktor	Celkový Cramerův koeficient
Vzdálenost od silnic	0,4978
Vzdálenost k rezidenční zástavbě	0,4325
Vzdálenost od nedostavěné rezidenční zástavby	0,2765
Vzdálenost ke komerční zástavbě	0,4125
Vzdálenost od nedostavěných komerčních ploch	0,3685
Nadmořská výška	0,2135
Sklonitost	0,1879

Protože bylo u všech použitých faktorů dosaženo hodnoty nad 0,15, u některých i nad 0,4, byly v modelu všechny použity, i přes to, že některé faktory nemohly výsledek tolik ovlivnit (např. nadmořská výška nebo sklonitost).

Během iteračních procesů týkajících se jednotlivých sub-modelů byla křivka RMS chyby vždy hladká a klesající (obr. 16). Také bylo dosaženo následujících vysokých přesností (accuracy rate - přesnost trénovací množiny odvozená od testovací množiny), zobrazených v tab. 8.



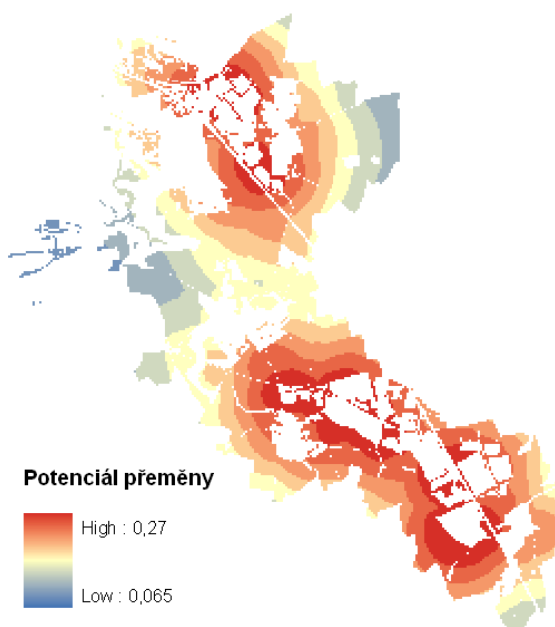
Tab. 8 Míra přesnosti, MLP

Sub-model	Přesnost
Rezidenční zástavba	95 %
Komerční zástavba	88,14 %
Zemědělská půda	93,85 %

Vlevo:

Obr. 16 RMS křivka pro sub-model Rezidenční zástavba

Z obrázku 17 i z přílohy 5 je patrné, že potenciál přeměny ze zemědělské půdy na jak komerční, tak rezidenční zástavbu, je nejvyšší v těch oblastech, kde se tento typ krajinného pokryvu již vyskytuje.



Obr. 17 Potenciál přeměny ze zemědělské půdy na komerční zástavbu

U potenciálu vyjadřující přeměnu z rozestavěných ploch (příloha 6) hraje největší roli okolí těchto stavenišť. Pokud se rozestavěná plocha nachází v blízkosti komerční zástavby, je pravděpodobnost její přeměny právě na komerční plochy vyšší než pravděpodobnost přeměny na plochy rezidenční.

Poslední mapa potenciálu, zobrazující přeměnu stavenišť zpět na zemědělskou půdu, dosahuje velkých hodnot ve všech místech, která označují tyto nedostavěné plochy. Důvodem jsou především faktory, které byly v tomto sub-modelu použity (nadmořská výška, sklonitost). Jak je vidět z tabulky 4, tyto faktory mají na vývoj zájmového území nejmenší vliv, proto přeměna stavenišť na zemědělskou půdu není nijak výrazně omezena. Tento výsledek pak pozitivně ovlivnil výslednou přeměnu těchto ploch na zemědělskou půdu, definovanou v kroku Plánování (viz kap. 6.2.3).

6.2 Vedlejší produkty simulace v Dyna-CLUE

V této části práce jsou ukázány mezivýsledky, které byly získány ze softwaru Dyna-CLUE. Jedná se tedy o výsledky logistické regrese a pravděpodobností mapy, které jsou těmito výsledky určeny.

6.2.1 Výsledky logistické regrese

U kategorie zemědělská půda je z tabulky 9 patrné, že faktor sklonitost nemá na výskyt zemědělské půdy žádný vliv. V celém území je sklonitost velmi malá (max. 13,6°), a tak tento výsledek není překvapující.

Vypočtené koeficienty byly uloženy jako *alloc1.reg*. Jejich hodnoty a hodnoty ROC ukazuje tab. 9.

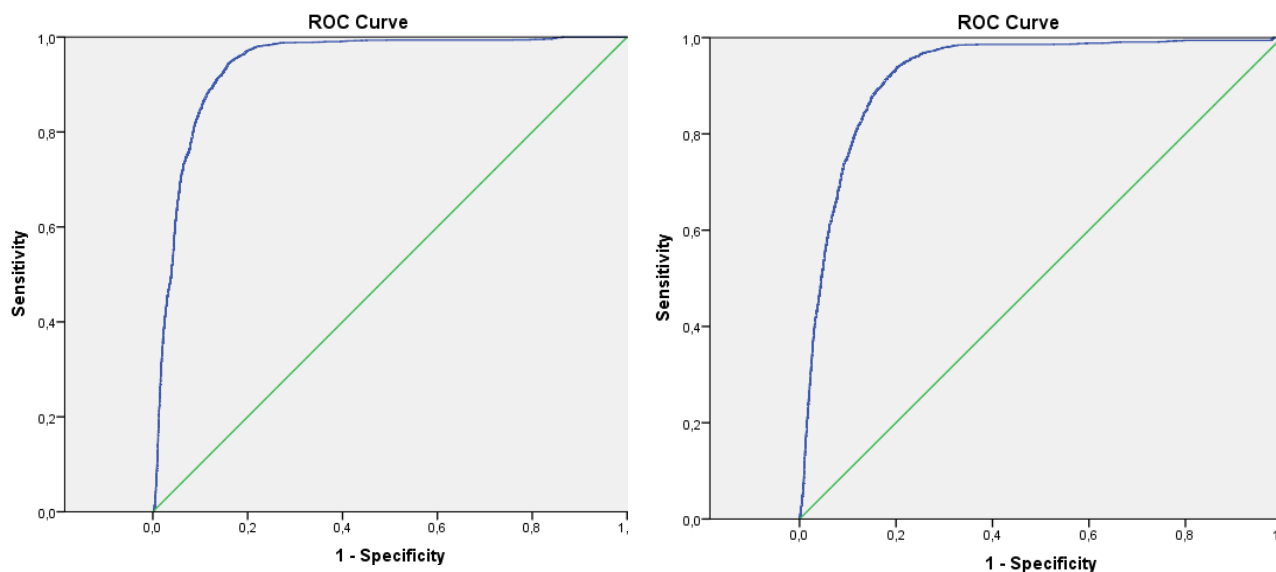
Tab. 9. Výsledky logistické regrese

Závislá proměnná	Nezávislá proměnná - faktor	Koeficient	ROC - plocha
Staveniště	<i>Konstanta $-\beta_0$</i>	0	–
Rezidenční zástavba	<i>Konstanta $-\beta_0$</i>	-0.398	0,942
	Nadmořská výška	0.004	
	Sklonitost	-0.092	
	Vzdálenost k nedostavěné rezidenční z.	-0.00024	
	Vzdálenost k rezidenční z.	-0.023	
Komerční zástavba	Vzdálenost k silnicím	-0.004	
	<i>Konstanta $-\beta_0$</i>	-3.264	0,923
	Nadmořská výška	0.011	
Sklonitost	-0.146		

Komerční zástavba	Vzdálenost k nedostavěné komerční z. Vzdálenost ke komerční z. Vzdálenost k silnicím	-0.001 -0.012 -0.002	
Silnice	<i>Konstanta $-\beta_0$</i>	0	–
Zemědělská půda	<i>Konstanta $-\beta_0$</i> Nadmořská výška Sklonitost	-3.396 -0,011 0	0,639
Les	<i>Konstanta $-\beta_0$</i>	0	–
Vodní plochy	<i>Konstanta $-\beta_0$</i>	0	–

Z obrázku 18 i z tabulky 9 je patrné, že u proměnných rezidenční a komerční zástavba je výsledná ROC hodnota velmi vysoká a obě křivky jsou i velmi podobné. To značí velmi dobrou vypovídající hodnotu modelu, a tedy použití vhodných faktorů.

U proměnné zemědělská půda je již výsledek horší, je zřejmé, že faktory nadmořská výška a sklonitost výskyt půdy moc dobře nevysvětlují. Je pochopitelné, že ani nízká nadmořská výška, ani zanedbatelná sklonitost, nemají podstatný vliv na přítomnost této kategorie. Protože ale i tak byla hodnota ROC vyšší než 0,5, a také z důvodu možnosti porovnání s LCM, byly tyto faktory do modelu nakonec zahrnuty.

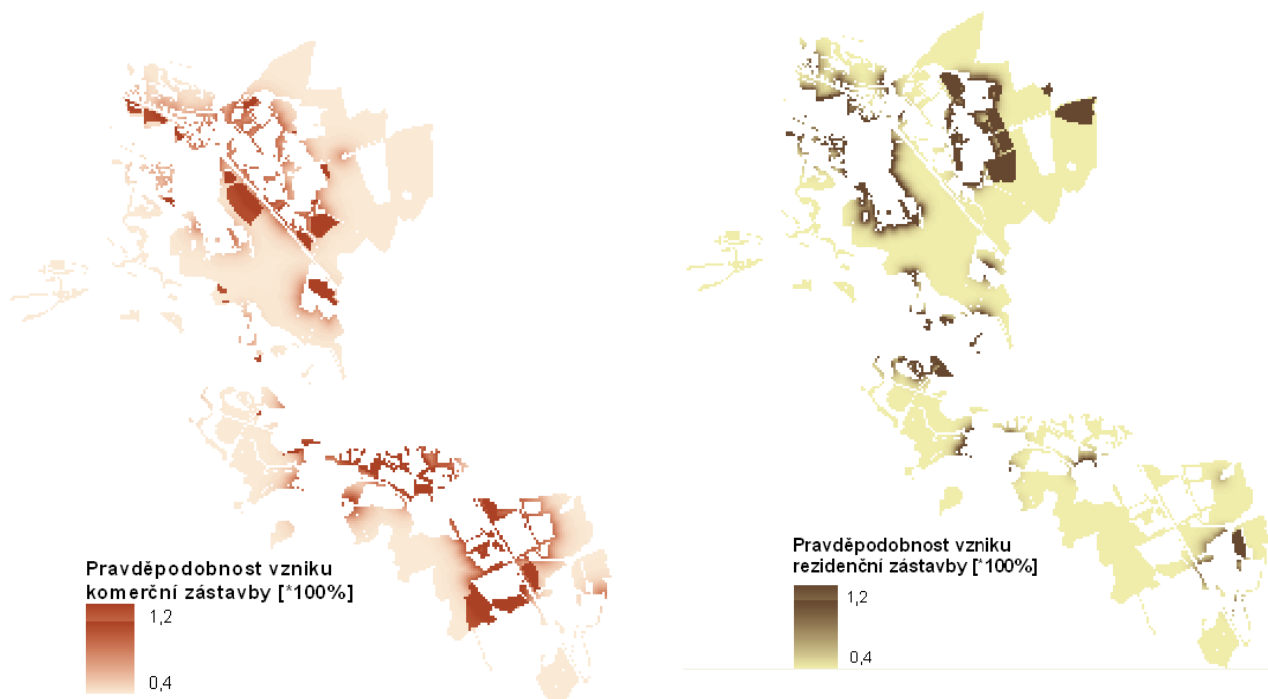


Obr. 18 ROC křivka pro kategorii rezidenční (vlevo) a komerční zástavba (vpravo)

6.2.2 Pravděpodobnostní mapy

Pravděpodobnostní mapy byly vypočteny pro kategorie rezidenční a komerční zástavba. Jak již bylo řečeno, tyto mapy Dyna-CLUE vypočítá na základě výsledků z logistické regrese. Protože byly ale v modelu použity také speciální mapy, upřednostňující na některých místech určitý rozvoj, čísla v mapě jsou na těchto místech větší než jedna.

Jak je vidět na obou obrázcích, největších hodnot dosahují oblasti, které byly definovány na základě těchto map, tedy především na základě územních plánů (místa s hodnotou větší než 1). Vyšší pravděpodobnost nové výstavby mají také místa v blízkosti již zástavby existující, což je dáno především faktory, které byly v logistické regresi použity.



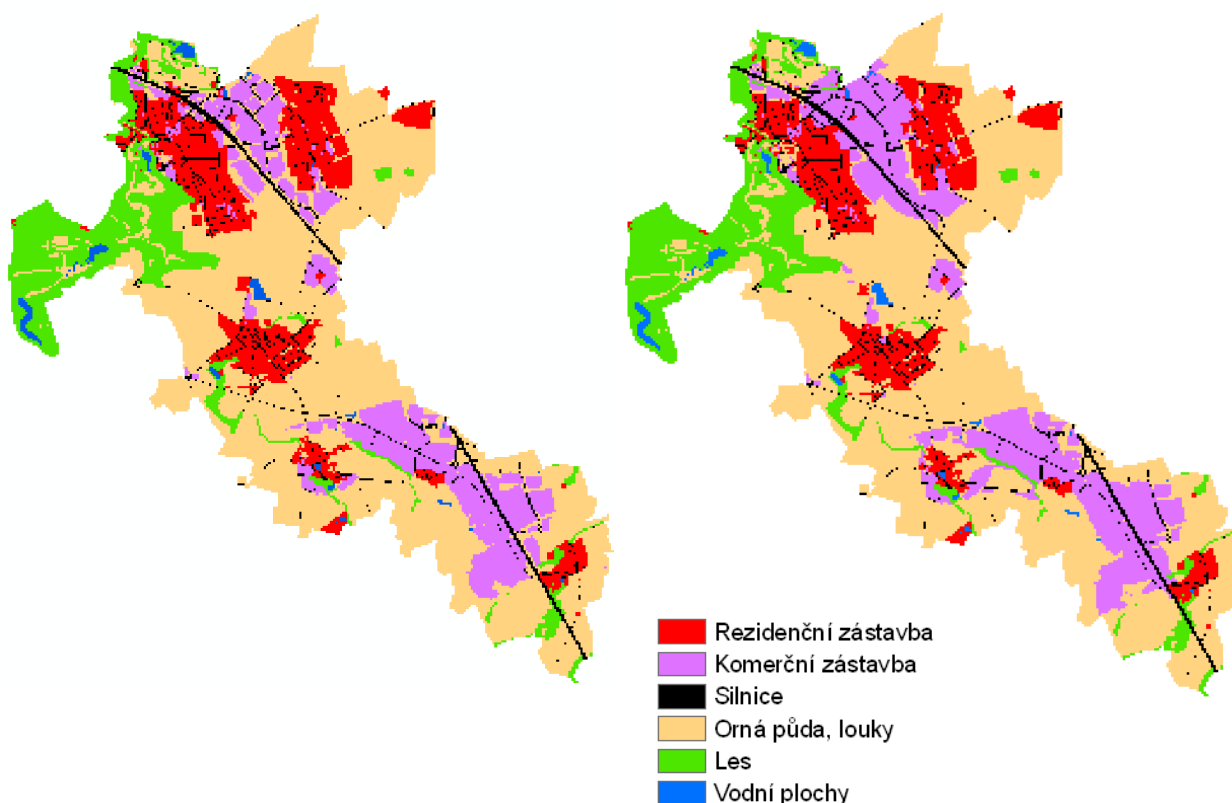
Obr. 19, Pravděpodobnostní mapy

6.1 Porovnání výsledků modelování v LCM a Dyna-CLUE

V této podkapitole jsem se zaměřila na porovnání výsledků simulace obou software, a to především porovnání kategorií rezidenční a komerční zástavba.

Jak je zřejmé z obou výsledků (obr. 20), existují místa, ve kterých se výstupy odlišují.

Nejvíce rozdílů je patrných u kategorie komerční zástavba, které LCM jak v jižní, tak v severní části zájmového území nasimuloval více než Dyna-CLUE. Zástavby rezidenční je v obou výstupech poměrně srovnatelné množství, i když více ji je tentokrát ve výstupu z Dyna-CLUE. V obou výstupech se také již nevyskytuje kategorie staveniště, která byla přeměněna buď na rezidenční nebo komerční zástavbu nebo na zemědělskou půdu.



Obr. 20 Výsledek modelování - stav 2020. Vlevo: Dyna-CLUE, vpravo: LCM

Tab. 10 Vývoj krajinného pokryvu 1994-2020

Kategorie \ Rok	1994	2007	2020	
			LCM	Dyna-CLUE
Staveniště	30,7	37,2	0	0
Rezidenční z.	126,6	170,8	236,4	258,3
Komerční z.	28,9	187,6	328,1	267,8
Silnice	71,4	88,5	88,5	88,5
Zemědělská půda	1388,8	1161,6	992,7	1031,0
Les	255,3	254,8	254,8	254,8
Vodní plochy	16,8	19,4	19,4	19,4

Z tabulky 10 je zřejmé, jak se změnil krajinný pokryv (rozloha jednotlivých jeho kategorií) ve sledovaném časovém horizontu, i s predikcí do roku 2020. Zatímco některé plochy zůstaly téměř nezměněné (např. lesní porosty, silnice a vodní plochy), jiné kategorie prošly velkým vývojem. Již od roku 1994 vidíme prudký nárůst komerčních ploch, které pak v roce 2020 zabírají podle LCM ještě o 60 ha více než predikce dle Dyna-CLUE. Naopak rezidenční ploch nasimuloval více Dyna-CLUE, a to o více než 20 ha. Obě tyto změny nejvíce ovlivnily vývoj

zemědělské půdy, jejíž rozloha klesla podle LCM o 14 % a podle Dyna-CLUE o 11 %. S rozšířením kategorie staveniště nebylo v práci počítáno, a tak jak již bylo řečeno výše, všechny rozestavěné plochy byly změněny na jiné kategorie.

6.2 Hodnocení přesnosti

Protože neexistuje způsob, jak bychom mohli zjistit, zda opravdu v roce 2020 bude krajina této studijní oblasti vypadat tak, jak ji nasimuloval jeden nebo druhý program, byla přesnost zhodnocena na základě požadavků, které byly na program kladeny. Celkem byly v každém programu definovány tři požadavky.

Nejdůležitějším z nich bylo respektování zákazu výstavby v těch částech území, kde je rozvoj zakázán, ať už z důvodu ochrany půd či například kvůli zákazu rozrůstání zástavby do oblastí lesních porostů nebo rušení vodních ploch.

Dále se jedná o místa, kde byl naopak vznik nové zástavby preferován, a to především díky územním plánům, získaných od jednotlivých obcí, nebo přeměně rozestavěných ploch na dokončené budovy.

Nakonec byl také kladen požadavek na zrušení některé nedokončené výstavby, z důvodu její polohy na území, které by nemělo být vyjmuty ze zemědělského půdního fondu. V těchto případech bylo tedy žádoucí přeměnit staveniště zpět na zemědělskou půdu nebo louky.

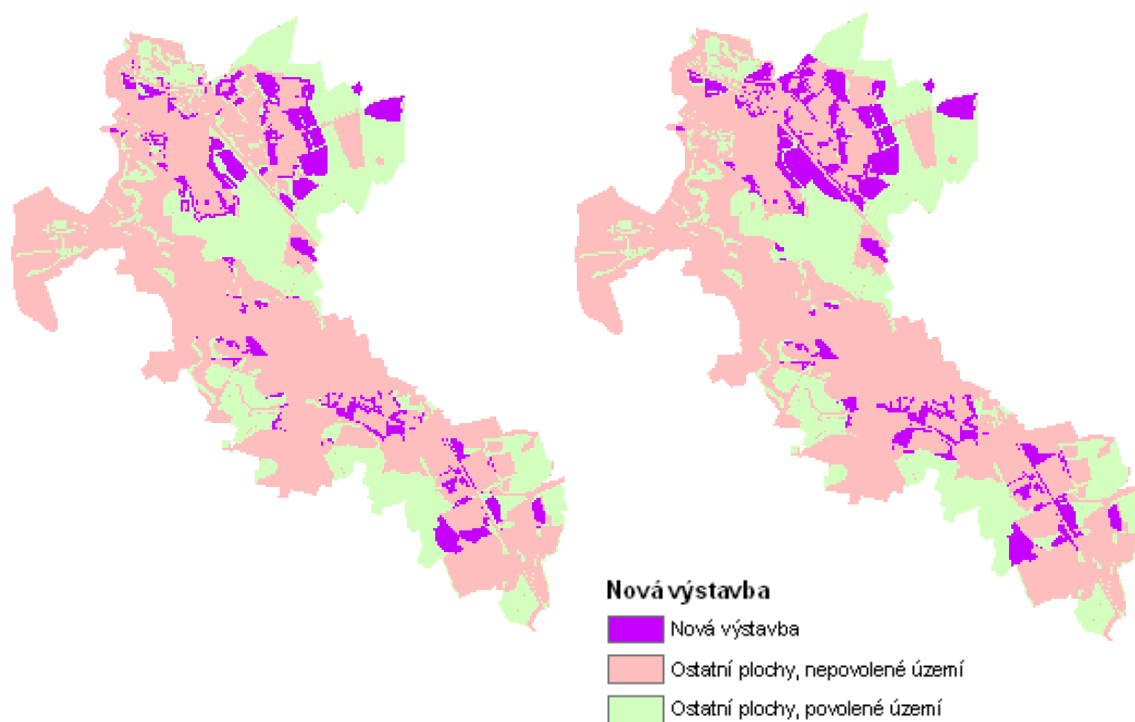
U každého modelu byly takové oblasti definované, a oba modely vyhodnotily tyto požadavky různým způsobem.

6.2.1 Zákaz výstavby

K posouzení této podmínky byly využity nástroje Spatial Analyst v softwaru ArcGIS. Nejprve byly pomocí funkce Raster Calculator zjištěny rozdíly mezi stavem krajinného pokryvu v roce 2007 a v roce 2020. Překlasifikováním tohoto rozdílu byla nová zástavba označena číslem 1 a zbytek území číslem 2 (příloha 12). Po sečtení tohoto rastru s rastrem zobrazující území povolené a zakázané k výstavbě (příloha 10) vznikl rastr pouze se třemi kategoriemi, a to s novou výstavbou, která se nachází na povoleném území, a dále se dvěma kategoriemi, označujícími ostatní plochy v povolených i nepovolených oblastech. Bylo tedy zjištěno, že nová výstavba, simulovaná programem Dyna-CLUE se vyskytuje pouze na povoleném území, tedy výstup tohoto programu splňuje první požadavek.

Podobný postup byl použit i u výstupu z LCM. Také v tomto případě bylo zjištěno, že program nepovolil rozvoj výstavby v oblastech, které byly uživatelem předem označeny.

Závěrem tohoto bodu lze tedy říci, že oba programy nasimulovaly vývoj zástavby pouze v místech, která k tomu byla určena a jsou tedy schopné akceptovat tento druh omezení (obr. 21).

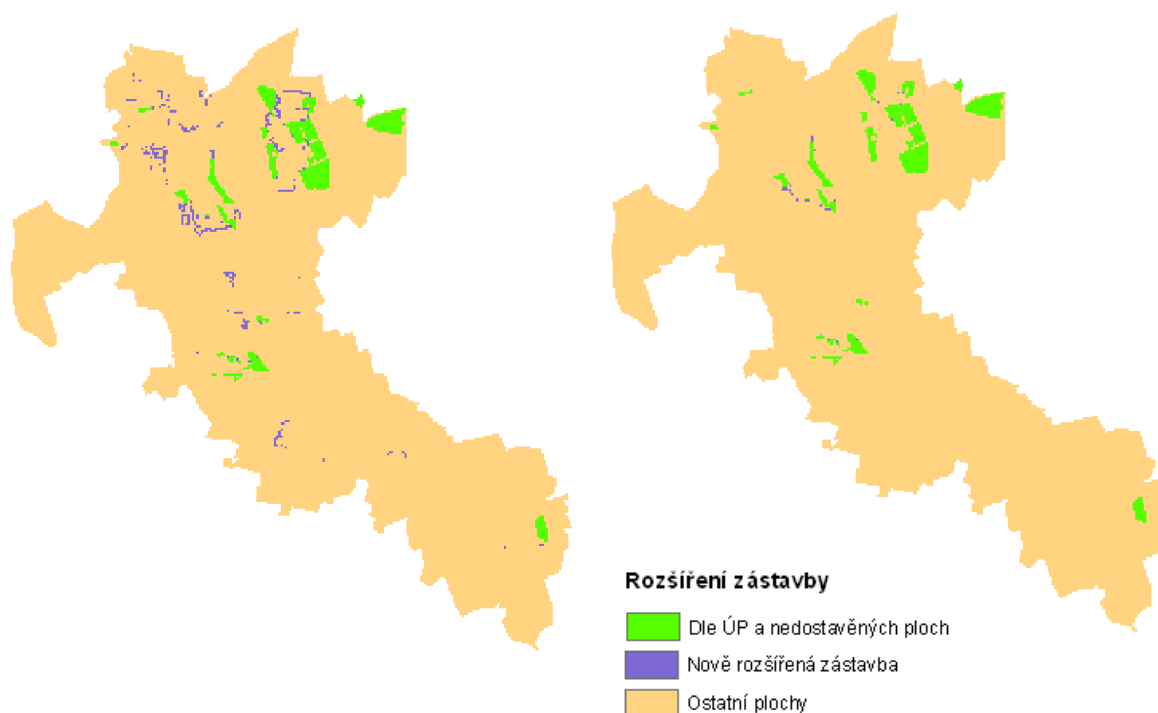


Obr. 21 Oblasti s novou výstavbou. Vlevo:Dyna-CLUE, vpravo:LCM

6.2.2 Preferovaný rozvoj výstavby

Ve využití územních plánů a rozestavěných ploch jsou již v obou výsledcích patrné rozdíly. V programu Dyna-CLUE byla tato místa určena pomocí souborů *locspec#.fil* (kap. 5.4.6) a dvou speciálních faktorů (kap. 5.4.5). V LCM byl využit modul „Plánování“ (kap. 5.3.3). Hodnocení přesnosti obou výstupů bylo opět provedeno v programu ArcGIS, kde byly opět pomocí funkcí Raster Calculator a Reclassify zjištěny rozdíly mezi požadovanými změnami a změnami nasimulovanými. Výpočet byl proveden zvlášť pro kategorii rezidenční zástavba a zvlášť pro kategorii komerční zástavba.

Co se týče programu Dyna-CLUE a rezidenční zástavby, program úspěšně rozšířil tuto kategorii do míst, která byla určena vstupními soubory. Tato místa jsou na obr. 22 zobrazena zelenou barvou. Modrá barva pak určuje místa, která byla programem nasimulována navíc, pouze ze základních vstupů, jako jsou výsledky regrese apod. Je vidět, že tyto oblasti se podle předpokladů nacházejí v blízkosti již stávající zástavby, šlo tedy o její mírné rozšíření, které mimo jiné záviselo také na požadované rozloze, určené v souboru *demand.in1* (kap. 5.4.3).



Obr. 22 Rozšíření rezidenční zástavby. Vlevo: Dyna-CLUE. Vpravo: LCM

U kategorie komerční zástavba se již ale vyskytly i plochy, kde tento požadavek nebyl splněn (příloha 12), a to i přes skutečnost, že byly nasimulovány plochy úplně nové (modrá barva). Tento fakt lze vysvětlit pomocí pravděpodobnostních map. I když byly použity speciální vstupy, označující místa, kde by měla vzniknout nová komerční zástavba, byla pravděpodobnost přeměny na tuto kategorii v některých, převážně okrajových místech menší, než na místech nově vzniklých komerčních ploch v jižní části rastru. Pro dosažení 100 % úspěšnosti ve vzniku požadovaných ploch by v tomto případě bylo nutné zvětšit rozlohu kategorie komerční plochy v souboru *demand.in1*.

U modelu LCM se nakonec také podařilo úspěšně nasimulovat novou rezidenční zástavbu v místech, která k tomu byla určena. Jak je vidět z obrázku 22, na rozdíl od programu Dyna-CLUE, LCM již ale jinak zástavbu prakticky nerozšířil. Plochy, které program určil samostatně, zabírají pouze několik pixelů (modrá barva). Zde je možné vidět rozdíl mezi výsledným počtem pixelů, které byly rozmístěny programem Dyna-CLUE a LCM. Zatímco u Dyna-CLUE je tento počet definován už od počátku uživatelem, u LCM závisí především na matici přechodu, kterou model vytvoří na základě dvou historických zdrojů dat. Protože se mezi lety 1994 a 2007 rezidenční zástavba rozrostla jen mírně (ve srovnání se zástavbou komerční), program i pro predikci určil těchto ploch menší množství.

Jak již bylo řečeno v kap. 5.3.4, původní matice přechodu byla o něco pozměněna. Bylo to především z důvodu zvýšení pravděpodobnosti přeměny zemědělské půdy na rezidenční zástavbu. Jak je vidět na obr. v příloze 13, v původním výsledku nebyla např. zahrnuta nová rezidenční zástavba v severovýchodním výběžku zájmového území. Tato oblast se totiž vyskytuje tak daleko od již stávající rezidenční zástavby, že mapy potenciálu, na jejichž základě LCM určuje nové rozmístění krajinného pokryvu, měly v těchto místech velmi nízké hodnoty. Po zvýšení pravděpodobnosti, jak je vidět v tab. 4 byl i tento požadavek splněn.

U zástavby komerční, LCM kromě požadovaných ploch rozmístil ještě mnoho dalších. To je důsledkem velkého rozšíření komerčních ploch mezi lety 1994 a 2007. Na základě těchto dat LCM určil mnohem větší pravděpodobnost vzniku nové komerční zástavby než vzniku zástavby rezidenční. To je možné vidět jak z matice přechodu (příloha 8), tak z matice ukazující předpokládané změny v počtech pixelů (příloha 8). Na základě těchto dat pak LCM rozmístil i další novou komerční zástavbu, a to především v místech určených mapou potenciálu (obr. 17).

Co se týče splnění požadavku, zda byly rozmístěny všechny komerční plochy podle ÚP a nedostavěných ploch, zde došlo k podobnému problému jako u Dyna-CLUE. Ani LCM nedokázal správně rozmístit všechny nové plochy, které byly na počátku definovány (příloha 12). Program sice správně rozmístil všechny plochy určené územním plánem, ale na jihu zájmového území došlo k přeměně jedné nedostavěné plochy na zemědělskou půdu místo na komerční zástavbu. To lze vysvětlit opět pomocí mapy potenciálu vyjadřující potenciál přeměny nedostavěných ploch na zemědělskou půdu (příloha 6) a matice přechodu (příloha 8). Hodnoty v této mapě se sice liší jen velmi málo, ale jsou přeci jenom nejvyšší právě v oblasti, kde místo komerční zástavby vznikla zemědělská půda. To spolu s poměrně vysokou hodnotou v matici přechodu (0,28) dává velkou pravděpodobnost vzniku zemědělské půdy namísto požadované komerční zástavby.

Aby byl tento malý nedostatek vyřešen, byla opět pozměněna matice přechodu (zvýšení pravděpodobnosti přeměny staveníšť na komerční zástavbu a snížení pravděpodobnosti přeměny staveníšť na zemědělskou půdu), avšak program po této změně již nedošel k žádnému výsledku.

6.2.3 Přeměna rozestavěných ploch na zemědělskou půdu

I v tomto bodě byl postup zhodnocení velmi podobný těm předchozím. Výsledky byly porovnány opět za použití nástrojů Spatial Analyst, v programu ArcGIS.

Tento požadavek se nakonec podařilo splnit v obou programech, i když u programu Dyna-CLUE bylo nutné vytvořit jeden vstupní soubor navíc, aby byla tato podmínka 100 % splněna.

Jednalo se o soubor, určující prioritní rozmístění krajinného pokryvu (v tomto případě zemědělské půdy). I přes původní definování speciálního faktoru, označeného v matici přechodu jako „C“ (kap. 5.4.5) docházelo k přeměně některých stavenišť na zástavbu i v nepovolené oblasti (především středová oblast, kolem obce Dobřejuvice). Tato místa se nacházela v těsné blízkosti rezidenční či komerční zástavby a měla tak vysokou pravděpodobnost, že na ně bude zástavba rozšířena. Přidáním speciální mapy (*locspec#.fil*, kap. 5.4.6), označující tyto kritické oblasti, byla pak pravděpodobnost vzniku zemědělské půdy vyšší než pravděpodobnost vzniku zástavby a problém tím byl vyřešen.

U modelu LCM bylo dostačující použití vstupního souboru (příloha 7), definovaného v kroku „Plánování“. V tomto případě byly všechny oblasti správně přeměněny na zemědělskou půdu. Důvodem bezproblémového splnění tohoto požadavku byla především již zmíněná mapa potenciálu, určující potenciál přeměny ze stavebních ploch na zemědělskou půdu. Všechna stavenišťe mají podle této mapy velkou pravděpodobnost změny na zemědělskou půdu, proto kvůli tomuto požadavku nebylo třeba měnit jiné parametry modelu.

6.3 Srovnání modelů

Jak je již patrné ze samotné metodiky i z dosažených výsledků, oba modely se od sebe odlišují. Největší podíl na této rozdílnosti mají samozřejmě metody modelování, které se v obou modelech používají.

Prvním zásadním rozdílem je již podoba vstupních souborů a definování základních informací o zájmovém území, ze kterých pak oba modely vycházejí. Zatímco LCM vyžaduje informace o historickém vývoji území ze dvou rastrových map (v tomto případě z roku 1994 a 2007), pro gram Dyna-CLUE pracuje pouze s jedním snímkem (2007). Z tohoto důvodu nemá tento program žádné informace o tom, jak v minulosti probíhal v zájmovém území vývoj krajinného pokryvu. Z toho se odvíjí i výsledky modelování. Zatímco LCM na základě těchto historických dat určuje matici přechodu, označující pravděpodobnosti přeměny jedné kategorie na druhou, u programu Dyna-CLUE nemůže historický vývoj oblasti jeho budoucí podobu ovlivnit.

Jediným historickým údajem, který je možné do programu Dyna-CLUE vložit je pak číslo na sedmnáctém řádku v souboru hlavních parametrů (kap. 5.4.1). Toto nastavení každému pixelu generuje náhodný počet let, po který se pod ním vyskytoval určitý druh krajinného pokryvu. Protože ale v této práci byla provedena predikce pouze do roku 2020, toto nastavení se ve výsledné simulaci nijak neprojeví.

Dalším velkým rozdílem je vytváření pravděpodobnostních map, případně map potenciálu. U programu Dyna-CLUE jsou tyto mapy vytvářeny na základě výsledků z logistické regrese. Tyto parametry musí být navíc vypočteny v externím programu. Zmíněné mapy potenciálu,

vytvořené v LCM, je možné brát jako analogii k pravděpodobnostním mapám z Dyna-CLUE. Oba tyto výstupy totiž slouží k určení výsledného prostorového rozmístění změn.

Ale na rozdíl od Dyna-CLUE, v LCM byla místo logistické regrese použita metoda vícevrstvých neuronových sítí (MLP neural network). Protože vstupní množiny, použité v metodě MLP jsou vždy tvořeny náhodnými pixely, mohou se také výsledné mapy potenciálu při několika spuštěních tohoto algoritmu mírně lišit. Bylo ale zjištěno, že tyto mírné změny nijak výrazně neovlivnily celkový výsledek.

Dále je třeba zmínit způsob, jak je v obou modelech určena kvantita změnových pixelů. V tom se oba programy také výrazně liší. LCM je schopný si tuto informaci zajistit z dostupných dat, ale program Dyna-CLUE vyžaduje, aby počet změnových pixelů zadal uživatel. Dalo by se říci, že LCM je v tomto ohledu více nezávislý model a nedá uživateli tolik možností, jak model nastavit. Program Dyna-CLUE čerpá informace o počtech pixelů ze souboru *demand1.in* (kap. 5.4.3), který tvoří povinnou součást jeho počáteční konfigurace. Iterační proces pak probíhá tak dlouho, dokud Dyna-CLUE nedosáhne minimální povolené odchylky od vypočtených a uživatelem zadaných pixelů. Naopak LCM a základě dat z roku 1994 a 2007 vypočetl očekávaný počet pixelů, které by se měly změnit z jednoho typu krajinného pokryvu na druhý. Procedura, která byla k výpočtu použita, byl Markovův řetězec (více kap. 3.2.1 a 4.1).

Tento výše popsaný rozdíl je také důvodem, proč ve výsledku LCM nasimuloval mnohem více komerční zástavby než program Dyna-CLUE. Bylo to právě na základě historických dat. Jak již bylo řečeno, mezi lety 1994 a 2007 došlo k velkému rozšíření komerční zástavby, a protože výsledná pravděpodobnost jejího dalšího rozšíření v roce 2020 byla stejná, došlo i ve výsledné simulaci k jejímu velkému nárůstu. Zatímco u Dyna-CLUE, kde byl počet pixelů komerční zástavby v roce 2020 určen ručně, byla zvolena o něco střízlivější hodnota, která již nepočítá se stejně rychlým vývojem komerčních ploch i v dalších letech.

Jsou to právě tyto výše popsané rozdíly, které odůvodňují rozdílnost dosažených výsledků. Oba modely se ale liší i v méně zásadních krocích jejich konfigurace. Je tomu například tak u některých vstupních dat. Jak již bylo popsáno v kapitole 5, u obou modelů byly definované oblasti, kde může docházet k vývoji a naopak. Také byla určena místa s upřednostněným rozvojem. Právě tyto oblasti bylo třeba v každém modelu nastavit jiným způsobem. V programu Dyna-CLUE byly oblasti, na kterých nebyl povolen rozvoj, určeny souborem *region1.fil* (příloha 10), kterým bylo pak jasně rozlišeno, u kterých pixelů může dojít ke změně a u kterých nikoliv. Software LCM nenabízí takto přímočaré definování oblastí. Tento zákaz výstavby musel být v sekci Plánování (kap. 5.3.3) definován pro každý sub-model zvlášť. Pokud se týká preferenčních oblastí rozvoje, ty byly v LCM určeny zároveň s oblastmi, kde je rozvoj zakázán. Pro každý sub-model šlo tedy o jeden mapový vstup, označující obě kategorie. U programu Dyna-CLUE musely být použity další vstupy navíc, označující preferovaný rozvoj dané

kategorie. Pokud se uživatel rozhodne tyto preferenční mapy použít, je nutné je vytvořit pro všechny kategorie krajinného pokryvu, nacházející se v zájmovém území, a to i přes to, že je všechny nepotřebuje. V souboru hlavních parametrů jsou pak číslem nula označeny ty preferenční mapy, které nejsou při simulaci využity (ty mohou v rámci zájmového území obsahovat libovolné hodnoty). Bylo tedy nutné vytvořit sedm preferenčních map, na rozdíl od LCM, kde stačí vytvořit preferenční mapu pouze k definovanému sub-modelu.

Rozdíly obou softwarů, popsané v této kapitole jsou ty, se kterými jsem se setkala v průběhu zpracovávání této práce. Protože oba modely nabízejí další možnosti modelování, které nebyly v práci využity, je jisté, že rozdílů je ještě mnohem více. Ovšem výše popsané odlišnosti jsou právě ty, které nejvíce ovlivnily výsledky simulací obou softwarů.

KAPITOLA 7

Diskuze

V této práci byl pomocí dvou různých softwarů simulován vývoj rezidenční a komerční zástavby. V obou softwarech byly vytvořeny predikční mapy, zachycující zájmové území v roce 2020. Protože postupy modelování i použité metody se odlišovaly, byly i dosažené výsledky různé. Oba tyto výstupy pak byly porovnány a zhodnoceny. Za hlavní parametry hodnocení přesnosti simulace bylo považováno splnění všech požadavků zadaných uživatelem. Dva ze tří požadavků byly splněny u obou modelů (zákaz výstavby na daném území a přeměna rozestavěných ploch na zemědělskou půdu). U třetího požadavku (preferovaný rozvoj výstavby) se u obou modelů vyskytly malé nedostatky. Oba výstupy nesplnily požadavek preferenčního rozmístění komerční zástavby (příloha 12). Komerční zástavba byla zároveň také kategorie, jejíž rozloha se v obou výsledcích nejvíce lišila (kromě zemědělské půdy).

Dosažené výsledky, ale již i samotná konfigurace obou softwarů umožnily zhodnotit oba programy i z hlediska uživatelského. Následující řádky tak shrnují výhody, ale i drobné nedostatky obou softwarů.

Co se týče programu Dyna-CLUE, nejvíce bych ocenila jeho stabilitu a přesnost výsledků. Pomocí preferenčních map lze dosáhnout požadovaného vývoje i v odlehlých oblastech, kde by pouze na základě pravděpodobnosti k vývoji nedošlo. Tuto možnost samozřejmě nabízí i LCM. Zde však malá změna v kategorii rezidenční zástavba mezi lety 1994 – 2007 určila i její velmi malý rozvoj do budoucna. Proto ani přidání speciální mapy v kroku „Plánování“ nemělo na vývoj v odlehlých oblastech žádný vliv. Požadovaného výsledku bylo dosaženo až po zvýšení pravděpodobnosti v matici přechodu.

Největším nedostatkem LCM je bezesporu jeho nestabilita. Během zpracovávání dat tento software častokrát vypisoval nejrůznější chybové hlášky nesouvisející se samotným modelováním (např. problémy s desetinnými čárkami a tečkami nebo údajný nedostatek místa v paměti PC). Tyto problémy se vyskytovaly zcela náhodně, třeba i vzápětí po úspěšné simulaci, a řešením bylo buď restartování programu, PC či úplné přeinstalování celého softwaru. S podobnými problémy se setkal i Malach (2009), který používal LCM při analýze a predikci změn ve využití půdy. Pokud ve své práci použil více než dva sub-modely, LCM se choval velmi nestabilně. U programu Dyna-CLUE tyto problémy nenastaly.

Na druhou stranu je ale důležité poznamenat, že samotné modelování v LCM je méně složité než u programu Dyna-CLUE. Uživatelské prostředí je přizpůsobeno tak, aby byly jednotlivé kroky plněny ve správném pořadí a modelování tak bylo více intuitivní. Prostor Dyna-CLUE

je naproti tomu velice jednoduché. Uživatel se s ním setká pouze při konečné predikci, popř. výpočtu pravděpodobnostních map. Příprava dat pro Dyna-CLUE je velmi časově náročná a je nezbytně nutné využít i jiné softwary. Všechny mapové vstupy musejí být v textové podobě. Z toho důvodu je zapotřebí, aby byly vytvořeny zvlášť v geoinformatickém softwaru a následně zkonvertovány do požadovaného formátu. Další použití externího softwaru je nezbytné pro získání výsledků logistické regrese. To je samozřejmě podmíněno jeho alespoň částečným ovládnutím. Z toho také plyne problém při vizualizaci výsledků. Aby bylo možné otevřít všechny mapové výstupy z Dyna-CLUE, je opět nutné nahrát je do vhodného geoinformatického softwaru. Naproti tomu LCM je již součástí geoinformatického softwaru IDRISI nebo funguje jako extenze programu ArcGIS. Tedy při práci s LCM není jiný software potřeba.

Práci s preferenčními mapami bych hodnotila pozitivněji u softwaru Dyna-CLUE. Bohužel není příliš praktické, že je třeba definovat tyto mapy pro všechny kategorie krajinného pokryvu, i když je zapotřebí třeba pouze jedna. Na druhou stranu tím ale uživatel není omezen, pro kterou z kategorií může predikční mapu použít. Tímto lze určit preferenční rozvoj kdekoliv v celém zájmovém území. U softwaru LCM to je poněkud složitější, protože ne vždy lze definovat preferenční rozvoj pro všechny kategorie v zájmovém území. Pokud například není definovaný sub-model pro rozvoj vodních ploch a ani nejsou vodní plochy zařazeny mezi vysvětlující faktory, není možné uplatnit např. územní plán počítající s jejich novou výstavbou.

Je třeba zdůraznit, že výstupy z této práce jsou spíše vizualizací krajinného pokryvu v roce 2020 za ideálních podmínek. Jde tedy především o dodržení předepsaného územního plánu a omezení výstavby na zemědělské půdě první třídy ochrany. Z tohoto důvodu bylo třeba přeměnit některé rozestavěné plochy na zemědělskou půdu. I když v praxi taková změna není příliš reálná, v práci šlo především o ověření, zda jsou modely schopné nasimulovat právě takový vývoj, kdy na jedné straně bude snaha o splnění požadavků na rozvoj území, ale zároveň nedojde k narušení krajiny.

Z tohoto důvodu byly zapotřebí preferenční mapy udávající rozvoj zemědělské půdy na místech některých stavenišť. U programu Dyna-CLUE byly tyto plochy definovány jak pomocí matice přechodu (kap. 5.4.5), tak pomocí speciálních preferenčních map (kap. 5.4.6). U softwaru LCM nebylo zpočátku vůbec možné tuto přeměnu provést, protože byly definovány pouze dva sub-modely, a to přeměna na rezidenční zástavbu a přeměna na komerční zástavbu. Bylo tedy nutné vytvořit další sub-model navíc, a to zdánlivě nelogický přechod od stavenišť k zemědělské půdě. Aby program začal se sub-modelem pracovat, a následně tak využil i preferenční mapy, bylo nutné v něm definovat faktory, které mohly vývoj zemědělské půdy vysvětlit. Tento vývoj ovšem ovlivňuje nejvíce lidský faktor, který takto přímo do modelu zahrnout nelze. Nakonec byly vybrány faktory jako sklonitost a nadmořská výška, i když ve

vybraném zájmovém území hrají velmi malou roli. Tento postup je ve srovnání s jednoduchou aplikací preferenční mapy u Dyna-CLUE velmi zdlouhavý a nepraktický.

Modelování v programu Dyna-CLUE považuji za více řízené uživatelem. A to především díky nutnosti zadání budoucí rozlohy jednotlivých kategorií krajinného pokryvu. I když se na výsledku simulace podílí více faktorů (pravděpodobnostní mapy, elasticita jednotlivých kategorií nebo preferenční mapy), určením těchto rozloh je možné predikci velmi ovlivnit. Na druhou stranu program LCM se v tomto ohledu vyznačuje více nezávislým modelováním. Konečný počet pixelů v kategoriích krajinného pokryvu si určí sám na základě historických dat, totéž platí i pro pravděpodobnosti přechodu. Ovšem i tento software je možné ovlivnit například pomocí ruční editace matice. Ta nakonec byla provedena i v této práci. Z toho je patrné, že program sice umožňuje více nezávislé modelování, ale bez úpravy matice přechodu dosáhl v tomto konkrétním případě horších výsledků než Dyna-CLUE, u kterého bylo vše předem definováno.

Zde se ale nakonec nabízí otázka, do jaké míry pak software Dyna-CLUE pracuje sám a do jaké míry jen rozmístí přesně daný počet pixelů podle přání uživatele. Z výsledků je patrné, že i přes nastavení všech požadovaných parametrů, nedošlo k přesné alokaci všech pixelů tak, jak bylo požadováno (příloha 12), a že naopak vznikly i oblasti nové zástavby mimo místa zadaná preferenčními mapami. Je tedy patrné, že program je schopný určit vývoj oblasti i bez preferenčních map, pouze na základě výsledků z logistické regrese. Uživatel ale v každém případě ovlivní, jak moc se toto území změní. Na druhou stranu pozitivním dopadem tohoto kroku může být reálnější vývoj území, založený na konkrétní situaci. V této práci je to vidět na rozmístění komerční zástavby. V zájmovém území se již nepočítá s tak masivní výstavbou komerčních zón, jako tomu bylo mezi lety 1994 a 2007. Proto v tomto případě bylo výhodné, že program Dyna-CLUE umožnil definovat vývoj této kategorie poněkud střízlivěji než LCM, který vycházel z dat předchozího období.

Dalo by se říct, že program LCM nabízí sice možnost více nezávislého modelování, které pokud uživatel nepotřebuje jinak, ovlivní pouze vkládanými daty, za to je ale možné, že výsledky budou méně reálné.

Záleží tedy především na konkrétním účelu predikce. Zda má jít pouze o promítnutí stávajícího stavu a stávajícího trendu rozvoje do budoucnosti nebo zda jde o více sofistikované modelování, zahrnující určitá omezení nebo naopak upřednostňující vývoj v určitých oblastech.

V této práci bylo dokázáno, že ačkoliv ani jeden ze softwarů není primárně určen pro modelování zástavby, predikce zájmového území byla úspěšně provedena v každém z nich. A to i přes to, že zájmové území nebylo vzhledem k modelovým oblastem použitým v jiných studiích tak rozsáhlé. V budoucnu by v obou softwarech mohly být využité i další funkce, které nabízejí. Především modelování v LCM lze ještě více rozšířit, hlavně o ekologické aspekty modelování.

Co se týče modelování zástavby, do budoucna by bylo vhodné rozšířit jej o modelování vývoje silniční sítě. Software LCM nabízí dvě možnosti, jak silniční síť modelovat. První z nich je na základě známého stavu sítě v budoucnosti, druhá možnost počítá s automatickým rozšířením stavu silnic z historického snímku. Jak ale autoři modelu sami přiznávají, predikce silniční sítě je stále ještě v experimentální fázi. Ovšem pokud by se modelování týkalo vzdálenějšího časového okamžiku, bylo by vhodné zohlednit i tento vývoj. Program Dyna-CLUE není ke specifickému vývoji silniční sítě bohužel nijak přizpůsoben.

Pro takovéto komplexnější urbanistické modelování by bylo jistě vhodnější použít model, vytvořený speciálně pro simulaci zástavby. Příkladem může být např. model UrbanSim, který byl navržen i pro modelování vývoje obyvatel a dopravy.

Podle dostupných publikací, zabývajících se LCM, bylo zjištěno, že autoři hodnotí své výsledky z hlediska změn, které se v jejich zájmovém území odehrály. Nezaměřují se tak již na hodnocení výsledků z hlediska použitých metod nebo vstupů. Příkladem může být studie od Manandhar a kol. (2006), zabývající se modelováním zástavby v Hunter Valley v jihovýchodní Austrálii. Výsledky predikce pro rok 2025 podává číselně, jako např. nárůst počtu hektarů nebo procentuální nárůst rozlohy zastavěného území.

Podobným způsobem hodnotí svoji práci i Tewolde a Cabral (2011), kteří využili LCM pro modelování růstu města Asmara v Etiopii. Protože výsledek jejich predikce pro rok 2020 zachoval alarmující růst zástavby z let 2000-2009, zaměřili se autoři spíše na reálné vysvětlení tohoto nárůstu a na návrhy spojené s jeho zmírněním.

Podrobnějšímu zhodnocení modelování i výsledků z LCM se věnují Khoi a Murayama (2010), kteří se zabývali přeměnou lesních porostů v národním parku Tam Dao ve Vietnamu. Kromě klasického číselného vyjádření změn, autoři hodnotí své výsledky i s přihlédnutím na použité faktory. Stejně jako v této práci, i oni považují faktory sklonitost a nadmořskou výšku za méně výrazné. Je ovšem nutné poznamenat, že vhodnost jednotlivých faktorů je vždy odvozena od zájmového území, které je analyzováno.

Podle výše zmíněných publikací je zřejmé, že články, zabývající se hodnocením samotného softwaru LCM, jakožto nástroje pro modelování krajinného pokryvu se nepodařilo v literatuře nalézt. Jedinou studií byla již výše zmíněná práce Malacha (Zkušenosti s LCM při analýze a predikci změn ve využití půdy, 2009), který hodnotil program LCM i z hlediska uživatelského.

Co se týče programu Dyna-CLUE, autor El Khoury (2012) použil model k predikci krajinného pokryvu v South Nation na jihovýchodě Kanady. Ve své práci použil několik scénářů vývoje, aby zhodnotil možnosti tohoto softwaru. I když autor pracoval s jinými daty týkajícími se jiného typu území, dospěl k podobným závěrům. Stejně jako bylo zjištěno v této práci, i jeho výsledky poukazují na schopnost modelu Dyna-CLUE respektovat území

nepovolené k dalšímu rozvoji. Jeho výsledky také potvrzují fakt, že mapa, udávající stáří každého pixelu nehraje ve výsledné simulaci žádnou signifikantní roli. Z toho důvodu je velmi dobře možné nastavit toto stáří na náhodné, modelem určené hodnoty (viz soubor hlavních parametrů, řádek 17, kap. 5.4.1).

V dalších studiích, zabývajících se modelem Dyna-CLUE, nejsou výsledky hodnoceny tak, aby je bylo možné s touto prací porovnat. Zkušenosti s programem Dyna-CLUE má např. Verburg a Overmars (2009), kteří ve své práci predikují dlouhodobý (do roku 2030) vývoj evropské krajiny. Jimi dosažené výsledky nelze porovnávat s výsledky této práce, protože zájmové území, jeho velikost i použítá data se liší. Touto prací ale bylo dokázáno, že model Dyna-CLUE lze použít jak pro velmi rozsáhlá území zpracovávaná ve výše zmíněné studii (rozloha EU), tak pro území velmi malého rozsahu, jako tomu bylo v této práci.

Morávek (2011) používá Dyna-CLUE pro modelování krajiny v regionu jižních Alp. I když oblast je svou rozlohou menší (220 km²), stále nemůže být srovnávána se suburbánní oblastí Prahy, zpracovávané v této diplomové práci. Na konci své práce převážně posuzuje reálnost výsledků podle různých scénářů vývoje, které byly aplikovány na zájmové území. Podobný přístup aplikují i Trisurat a kol. (2010), kteří na základě tří scénářů analyzují vývoj krajiny v severním Thajsku.

V dostupné literatuře, týkající se obou modelů, nebylo zjištěno, že by Dyna-CLUE a LCM byly v dřívějších studiích použity pro modelování území na katastrální úrovni. V žádné z těchto prací autoři také použité modely neporovnávají mezi sebou ani s jinými a neanalyzují tak jejich přednosti a nedostatky.

KAPITOLA 8

Závěr

Cílem této práce bylo porovnat možnosti dvou softwarů, určených pro modelování krajiny. Na základě časové řady dat krajinného pokryvu, územních plánů, charakteristik BPEJ a dalších faktorů ovlivňujících vývoj zájmového území, byla v obou softwarech vytvořena mapa zobrazující stav krajinného pokryvu v roce 2020. Oba výsledky byly mezi sebou následně porovnány, a to převážně z hlediska splnění všech požadavků, definovaných v obou modelech. Poté byly zhodnoceny i samotné softwary a byly popsány jejich hlavní výhody a nedostatky.

Z dosažených výsledků vyplývá, že jak Dyna-CLUE tak LCM jsou softwary schopné vytvořit mapu, zobrazující stav krajinného pokryvu v daném budoucím okamžiku. Na základě hodnocení přesnosti obou modelů bylo zjištěno, že oba modely respektují oblasti, které nejsou vyhrazeny pro modelování a na kterých je další vývoj oblasti předem zakázán.

Co se týče preferovaného rozvoje některých kategorií, oba modely správně rozmístily novou rezidenční výstavbu. U komerční výstavby se ale tento požadavek nepodařilo na 100% vyplnit. Poslední požadavek, určený na základě tříd ochrany půd byl splněn jak v Dyna-CLUE, tak v LCM.

Během modelování jsem se setkala s několika faktory, které zkomplikovaly nebo naopak usnadnily práci s oběma modely. Pozitivně bych hodnotila především intuitivní práci s LCM a jasné definování všech požadavků u Dyna-CLUE. Na druhé straně ale práci znepříjemnila velká nestabilita LCM a nutnost použití jiných softwarů při modelování v Dyna-CLUE.

Možná vylepšení obou softwarů bych proto viděla přímo v odstranění těchto nedostatků. Možnost alespoň hrubé vizualizace výsledků přímo v Dyna-CLUE by jistě zrychlilo celý proces modelování. Stejně tak vylepšení stability softwaru LCM tak, aby nebylo nutné několikrát za den program restartovat či dokonce simulaci zkoušet na několika PC. Další možnost vylepšení u LCM vidím v definování speciálních požadavků na rozvoj území, v sekci Plánování. Bylo by vhodné, aby rozvoj kategorií krajinného pokryvu nebyl tak striktně vázán na definované sub-modely. U Dyna-CLUE bych zase uvítala možnosti vzít v úvahu i historický vývoj území, tedy možnost vložení alespoň dvou historických snímků zájmového území

I přes popsané mírné nedostatky obou softwarů je ale patrné, že cílů práce bylo dosaženo, a že oba softwary byly mezi sebou úspěšně porovnány. Zde je třeba zmínit, že se podařilo využít oba modely pro predikci v malém zájmovém území, pouhých pěti katastrů, jehož celková rozloha je cca 19 km². Ani jeden z modelů nebyl v dohledané literatuře v takovém územním detailu dosud použit. Další jedinečnost práce spočívá také v samotném porovnání obou

softwarů, kterým se také doposud nikdo nezabýval. Toto porovnání může být v budoucnu nápomocné při rozhodnutích, jaký model pro predikci použít.

Možné rozšíření této práce v budoucnu, vidím v zahrnutí modelování silniční sítě, která by celé predikci mohla dát reálnější podobu. Dále by bylo vhodné zařadit i demografické aspekty studované oblasti, např. vývoj počtu obyvatel nebo migraci. Rozšíření tématu by bylo možné i zpracováním více scénářů vývoje, např. scénáře s podporou výstavby nebo naopak s omezením výstavby a rozvojem zemědělských ploch.

SEZNAM ZDROJŮ A INFORMACÍ

- [1] AGARWAL, C. a kol. *A Review and Assessment of LandUse Change Models. Dynamics of Space, Time, and Human Choice*. 2001. Indiana University and USDA Forest Service.
- [2] AL-AHMADI, K. a kol. Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. *Ecological complexity*. 2008, č. 164.
- [3] ALCAMO, J. a kol. Searching for the future of land: Scenarios from the local to global scale. In *Land-use and land-cover change* (LAMBIN a GEIST, 2006).
- [4] AL-KHEDER, S. a kol. Fuzzy inference guided cellular automata urban-growth modelling using multi-temporal satellite images. *International Journal of Geographical Information science*. 2008. Vol.22, no. 11-12, s. 1271-1293.
- [5] ALMEIDA, C. M., a kol. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*. 2008. Vol. 22, no. 9, s. 943-963.
- [6] ARAYA Y. H., CABRAL, P. Analysis and Modeling of Urban Land Cover Change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. *Remote Sensing*. 2010. Vol. 2, no. 6, s. 1549-1563.
- [7] BATTY, M. a kol. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*. 1999, č. 23, s. 205-233.
- [8] BATTY, M. Urban Modeling. *International Encyclopedia of Human Geography*. Oxford: Elsevier, 2009, s. 51-58.
- [9] BATTY, M. *Urban Modelling: Algorithms, Calibrations, Predictions*. Cambridge University Press, 1976, 406 s. ISBN-10 0521208114 ISBN-13: 978-0521208116.
- [10] BATTY, M., LONGLEY, P. Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. *Environment and Planning A*. 1989, roč. 21, s. 1447-1472.
- [11] BONABEAU, E. *Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. Adaptive agents, intelligence, and emergent human organization: capturing complexity through agent-based modeling*. 2001. Colloquia of the National Academy of Sciences, October 4-6, 2001
- [12] BROMOVÁ, P. *Hodnocení suburbanizace v zázemí Prahy – vliv na využití krajiny a funkci území*. 2010. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta.
- [13] BROWN, D. a kol. *Modeling land use and land-cover change*. [online]. 2004 [cit. 2012-07-15]. Dostupné z: <http://www-personal.umich.edu/~danbrown/papers/lcluc_book.pdf>.
- [14] BROWN, D.G. a kol. Path dependence and the validation of agent-based spatial models of land use. *International Journal of Geographical Information Science*. 2005, roč. 19, č. 2, s. 153-174.
- [15] CABRAL, P. a A. ZAMYATIN. Three land change models for urban dynamics analysis in Sintra-Cascais area. In: *1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing* [online]. 2006 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://www.earsel.org/workshops/SIG-URS-2006/PDF/Session5_cabral.pdf

- [16] CASTELLA, J.-Ch. a kol. Participatory Simulation of Land-Use Changes in the Northern Mountains of Vietnam: the Combined Use of an Agent-Based Model, a Role-Playing Game, and a Geographic Information System. *Ecology and Society*. 2005, roč. 10, č. 27
- [17] CASTI, J. L. *Would be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science*. New York: John Wiley and Sons. 1997. 264 s. ISBN 0-471-19693-2.
- [18] CLARKE, K.C., HOPPEN, S., GAYDOS, L. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1997, vol. 24, s. 247–26.
- [19] Český statistický úřad [online].c2012 [cit. 2012-06-13]. Počet obyvatel v obcích. Dostupné z:<<http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/p/1301-12>>.
- [20] Čestlice [online].c2012 [cit. 2012-06-13]. Čestlice. Dostupné z:< <http://www.cestlice-obec.cz/informace-ou/-obecni-agenda/uzemni-plan/>>.
- [21] ČÚZK: Geoportál [online]. c2010 [cit. 2012-04-15]. Geoportál ČÚZK, přístup k mapovým produktům a službám resortu. Dostupné z:< <http://geoportal.cuzk.cz>>.
- [22] Dobřejovice.eu, obecní stránky [online].2011 [cit. 2012-06-13]. Obec Dobřejovice-Územní plán. Dostupné z:< <http://www.dobrejovice.eu/uzemni-plan-2>>.
- [23] DUSHKU, A. a S. BROWN. Spatial Modeling of Baselines for LULUCF Carbon Projects: The GEOMOD modeling approach. In: *2003 International Conference on Topical Forests and Climate Change: "Carbon Sequestration and the Clean Development Mechanism"*[online]. Manila, 2003 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.winrock.org/ecosystems/files/SpatialModelingOfBaselinesForLULUCFCarbon%20Projects-TheGEOMODModelingApproach2003.pdf>
- [24] EL KHOURY, A. *Modeling Land-Use Changes in the South Nation Watershed using Dyna-CLUE*. [online]. Ottawa, Canada 2012 [cit. 2012-08-18]. University of Ottawa. Dostupné z: <http://www.ruor.uottawa.ca/en/bitstream/handle/10393/22902/EI%20Khoury_Antoun_2012_Thesis.pdf?sequence=1>.
- [25] *Encyclopedia of Earth* [online]. 2011 [cit. 2012-04-15].The Encyclopedia of Earth. Dostupné z:< <http://www.eoearth.org/>>.
- [26] *Eururalis* [online]. [cit. 2012-07-15]. Eururalis. Dostupné z:< <http://www.eururalis.eu/>>.
- [27] FOOT, D. *Operational urban models*. London: Methuen, 1981, 256 s. ISBN 0-416-73320-4.
- [28] FOUSKOVÁ, T. *Suburbanizace na Znojemsku: případ Přimětice a Citonice* [online]. Brno, 2010 [cit. 2012-08-13]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/216809/fss_b_a3/>.
- [29] *Global Environmental Outlook* [online]. [cit. 2012-07-15]. United Nations Environment Programme. Dostupné z:< <http://www.unep.org/geo/>>.
- [30] GRILL, S. a kol. *Simulation and assessment model of urban development*. [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2012-07-10]. GIS Ostrava 2008. 11 s.
- [31] GUTH, J. a KUČERA, T. Monitorování změn krajinného pokryvu s využitím DPZ a GIS. *Příroda*. 1997, č. 10, 107-124
- [32] HENRÍQUEZ, C. a kol. Mapping Urban Change to Plan the Future: Maputo City Change Model and the Municipal Structure Plan . *Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage*. 2010, 3, s. 139-146.

- [33] HENRÍQUEZ, C., AZÓCAR G., REMERO, H. Monitoring and modeling the urban growth of two mid-sized Chilean cities. *Habitat International*. 2006. vol. 30, s. 945-964.
- [34] HU, Z. Y., LO, C. P. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers. Environment and Urban Systems*. 2007. Vol. 29, s.291–298.
- [35] HUSÁKOVÁ, M. Agentově orientované modelování a simulace. In: *Lide.uhk.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://lide.uhk.cz/fim/ucitel/fshusam2/lekarnicky/zt3/zt3_dokumenty/AgentModelSimul.pdf>
- [36] *IDRISI Selva Help System*. [cit. 2012-03-11].
- [37] JIANG, H. EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*.2000. Vol. 14, No. 2, s. 173-184.
- [38] KHOI, D. D., MURAYAMA, Y. Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. *Remote Sensing*. 2010, vol. 2, no. 5, s. 1249-1272.
- [39] KOOMEN, E. A kol. *Modelling Land-Use Change: Progress and Applications*, GeoJournal Library 90. Springer. 2007. 398 s. ISBN 978-1-4020-5647-5.
- [40] KURÁŇOVÁ, P. *Logistická regrese jako nástroj pro diskriminaci v lékařských aplikacích*. Ostrava, 2009. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [41] LAMBIN, E. F., GEIST, H. J. *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes nad Global Impacts*. Springer, 2006, 222 s. ISBN 978-3-540-32201-6.
- [42] LAMBIN, E. F., ROUNSEVELL, M.D.A., GEIST, H.J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, vol.82, no.1-3, s. 321–331.
- [43] LI, X., YEH, A. G. O. Modelling sustainable urban forms by the integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 2000. Vol. 14, no. 2, s. 131–152.
- [44] LI, X., YEH, A. G. O. Neural-network-based cellular automata for simultaning multiple land use change using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 2002. Vol. 16, no. 4, s. 323–343.
- [45] LIU, M. a kol. Land use and land cover change analysis and prediction in the Upper Reaches of the Minjiang river, China. *Environmental Management*. 2009. Vol. 43, s. 899-907
- [46] LOIBL, W., TOETZER, T. Modeling growth and densification processes in suburban regions - simulation of landscape transition with spatial agents. *Environmental Modelling & Software*. 2003. Vol. 18, no. 6, s. 553-563.
- [47] LÓPEZ, E.a kol. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: A case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*. 2001, roč. 55, č. 4, s. 271-285.
- [48] MALACH, Š. Zkušenosti s Land Change Modelerem (LCM) při analýze a predikci změn ve využití půdy. In MISÁKOVÁ, L., KLIMÁNEK, M. *10. seminář uživatelů IDRISI*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009, s. 36-48. ISBN 978-80-7375-320-7.
- [49] MANANDHAR, R., ODEH I., ANCEV T., *Modelling of spatio-temporal expansion of built-up and residential-commercial dwellings and their socioeconomic implication in the lower hunter of NSW, Australia*. Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial International

- Conference Adelaide 2006, Surveying & Spatial Sciences Institute, pp. 101-108. ISBN: 978-0-9581366-8-6
- [50] MATTHEWS, R. a kol. Agent-base land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology*. 2007. Vol. 22, s. 1447-1459.
- [51] MILLINGTON, J. a kol. An Agent-Based Model of Mediterranean Agricultural Land-Use/Cover Change for Examining Wildfire Risk. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2008, roč. 11, č. 44.
- [52] MOHMAND, A. K. a kol. Developing a Cellular Automata Land Use Model for Jeddah City, Kingdom of Saudi Arabia. In: *Proceedings - GTC 2011* [online]. 2011 [cit. 2012-03-01]. Dostupné z: <http://geomaticksa.com/GTC2011/S4/PDF/2.pdf>
- [53] MORAVEK, Andrej. *Analysis and modelling of landcover changes in a mountain area: the Barcelonnette basin, South French Alps*. Strasbourg, 2011. 110 s. Diplomová práce. Universite de Strasbourg.
- [54] *Obec Modletice a ZSJ Doubravice* [online]. [cit. 2012-06-13]. Územní plán. Dostupné z: <http://modletice.cz/index.php?clanek=uzemni-plan>.
- [55] OGUZ, H.; KLEIN, A.G.; SRINIVASAN, R. Using the Sleuth urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Houston-Galveston-Brazoria CMSA. *Research Journal of Social Sciences*. 2007, 2, s. 72-82.
- [56] OUŘEDNÍČEK, M. *Differential suburban development in Prague urban region*. [online]. In press [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/~slamak/gacr/annaler.pdf>.
- [57] OUŘEDNÍČEK, M. *Suburbanizace, co to je a jaké má podoby?* [Online]. 200? [cit. 2012-08-13]. Dostupné z: http://www.suburbanizace.cz/01_teorie_suburbanizace.htm.
- [58] PACK, H., a PACK, J. R. Urban land-use models: The determinants of adoption and use. *Policy sciences*. 1977, vol. 8, no. 1, s. 79-101.
- [59] PATTERSON Z., a kol. Disaggregate models with aggregate data. Two UrbanSim applications. *The journal of transport and land use*. 2010, vol. 3, no. 2, s. 5-37.
- [60] PIJANOWSKI, B. C. a kol. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land transformation Model. *Computers, Environment and Urban System*. In press.
- [61] POELMANS, L. a A. VAN ROMPAEY. Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: A case study in the Flanders-Brussels region. *Landscape and Urban Planning*. 2009, roč. 93, č. 1, s. 10-19.
- [62] POINTUS R. G., MALANSON, J. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*. 2005. Vol. 19, no. 2, s. 243-265
- [63] PONTIUS R. G. GEOMOD Modeling: Land-Use & Cover Change Modeling. In: *Clark University: One of 40 "Colleges that Change Lives"* [online]. 2006 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://www.clarku.edu/~rpontius/pontius_chen_2006_idrisi.pdf
- [64] POTŮČKOVÁ M. *Analýza vývoje suburbanizace na základě dat DPZ v obci Průhonice*. 2011. [online]. 2008-2012 [cit. 2012-06-13]. Dostupné z: http://www.suburbanizace.cz/analyzy/Potuckova_M_2011_Analyza_vyvoje_suburbanizace_na_zaklade_dat_DPZ_v_obci_Pruhone_19_5_2011.pdf.

- [65] Průhonice. *Oficiální webové stránky obce* [online]. [cit. 2012-06-13]. Mapy Dostupné z:< <http://www.pruhonice-obec.cz/mapy/ds-7710/p1=2088>>.
- [66] PŘEDPIS Č. 48/2011 Sb. *Vyhláška o stanovení tříd ochrany* [Online]. 2011 [cit. 2012-06-13]. Ministerstvo životního prostředí. Dostupné z:< <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-48>>.
- [67] RAFIEE, R.a kol. Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM). *Cities*. 2009, č. 26, s. 19-26.
- [68] ROC křivka. In: *Cyber.felk.cvut.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/teaching/zbd/biostat3.pdf>
- [69] *Říčany*[online].2012 [cit. 2012-06-13]. Územní plán. Dostupné z:< <http://info.ricany.cz/mesto/uzemni-plan>>.
- [70] SANGERMANO, F., EASTMAN, J.R., ZHU, H. Similarity weighted instance based learning for the generation of transition potentials in land change modeling. *Transactions in GIS*. 2010. Vol. 14, no. 5, s. 569-580.
- [71] SCHULZ, Jennifer J., et al. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*. 2010, 30, s. 436–447.
- [72] SILVA, E.A.; CLARKE, K.C. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban systems*. 2002, 26, s. 525-552.
- [73] *Sowac GIS, základní charakteristiky BPEJ*. [online]. 20.2.2011 [cit. 2012-06-13]. Základní charakteristiky BPEJ. Dostupné z:< http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_zchbpej/index.php?project=dhtml_zchbpej&layers=kraj>.
- [74] STRAKOVA, J. *Applicability of the EURURALIS Scenarios at the Fine Spatial Scales*. Ceske Budejovice, 2009. 81 s. Diplomová práce. University of South Bohemia
- [75] *Suburbanizace-Česká republika* [online]. 2008-2012 [cit. 2012-07-15]. Suburbanizace.cz. Dostupné z:< <http://www.suburbanizace.cz/>>.
- [76] SUI, D. Z. GIS-based urban modeling: Practices, problems, and prospects. *International Journal of Geographic Information Sciences*. 1998, vol. 12, s. 651-671.
- [77] SUN, Z. The Land-use Evolution and Impact Assessment Model: A Comprehensive Urban Planning Support System. In: *URISA*[online]. 2005 [cit. 2012-02-27]. Dostupné z:http://www.urisa.org/publications/journal/articles/the_land_use_evolution
- [78] SÝKORA, L. *Suburbanizace a její společenské důsledky* [online]. Sociologický ústav AVČR, Praha 2003 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z:< http://sreview.soc.cas.cz/uploads/e88e472dbbe36d1bb0e40baed8e7459faee0df1c_189_26syko16.pdf>.
- [79] ŠMEJDA, L. Možnosti využití techniky "Multi-Criteria Evaluation" v prostorové archeologii. In: *Příspěvky k prostorové archeologii I*. Plzeň: Katedra archeologie ZČU v Plzni, 2003.
- [80] TEMELOVÁ, J. *Případová studie I. – Čestlice*. 2008. [online]. [cit. 2012-06-13]. Dostupné z:< http://www.suburbanizace.cz/01_cestlice.htm>.
- [81] TEWOLDE, M. G., *Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea: Application of Geospatial Tools*. Eritrea, 2011. 91 s. Diplomová práce. Hamelmalo Agricultural College
- [82] TEWOLDE, M.G.; CABRAL, P. Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*. 2011, vol. 3, no.10, s. 2148-2165.

- [83] THAPA, R. B., MURAYAMA, Y. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2011, 35, s. 25-34.
- [84] TRISURAT, Y., ALKEMADE, R., VERBURG, P. H. Projecting land use change and its consequences for biodiversity in Northern Thailand. *Environmental Management* vol. 45, s. 626-639.
- [85] *Třídy ochrany zemědělského půdního fondu*. [online]. 20.2.2011 [cit. 2012-06-13]. Základní charakteristiky BPEJ. Dostupné z:< http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_zchbpej/index.php?project=dhtml_zchbpej&layers=kraj>.
- [86] *Územně identifikační registr*. [online]. c1997-2012 [cit. 2012-07-10]. Územně identifikační registr. Dostupné z:< <http://www.uir.cz/obce>>.
- [87] VACHUDA, J. *Hodnocení změn ve využívání půdního fondu na příkladu okresu Brno-město*. Brno, 2010. Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- [88] VERBURG, P. H. a kol. Land use change modelling: current practice and research priorities. *Geojournal*. 2004, vol. 61, no. 4, s. 309-324.
- [89] VERBURG, P. H., a kol. Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines. *Applied Geography*. 2006, 26, s. 153-173.
- [90] VERBURG, P. University Amsterdam, Institute for Environmental Studies. *The CLUE model: Hands-on exercises*. 2010, 53 s. Dostupné z: <http://www.cluemodel.nl/Exercises.pdf>
- [91] VERBURG, P.H.; OVERMARS, K.P. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology*. 2009, 24, s. 1167-1181
- [92] WADDELL, P. UrbanSim, Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning. *APA Journal*. 2002, vol. 68, no. 3, s. 297-314.
- [93] WÄGER, P. *Multi Criteria Evaluation: Working paper for the COST 356 Meeting in Torino, October 10-12, 2007*. St. Gallen, Switzerland: Technology and society laboratory, Empa. Dostupné z: http://cost356.inrets.fr/pub/reference/reports/tr._Wager_MCE_Torino_07.pdf
- [94] WENG, Q. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*. 2002, č. 64, 273-284.
- [95] WHITE, R. a G. ENGELEN. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*. 1993, roč. 25, č. 8, s. 1175-1199.
- [96] WOLFRAM, S. Cellular automata as models of complexity. *Nature*. 1984. vol. 311, no. 5985, s. 419-424.
- [97] WOLFRAM, S. Cellular automata. *Los Alamos Science*. 1983. Vol. 9. s. 2-21.
- [98] WU, F. a C.J. WEBSTER. Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1998, č. 25, 103 - 126.
- [99] ZHANG, Q. a kol. Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2011, 35, s. 126-139.