

METODY GIS V HODNOCENÍ ZMĚN VYUŽÍVÁNÍ KRAJINY

Hana Skokanová

Oddělení ekologie krajiny, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i.,
Lidická 25/27, 60200 Brno

Úvod

Studium změn využívání krajiny tvoří významnou součást krajinného výzkumu, ať již z hlediska přírodních procesů a lidských aktivit, krajinného rázu, či obnovy, resp. managementu krajiny. Lze je studovat na podkladě statistických dat, která však nemají vypovídající hodnotu z prostorového hlediska, tj. z hlediska rozmístění jednotlivých typů využívání krajiny, nebo na podkladě prostorových dat, která v sobě toto prostorové hledisko zahrnují a zároveň i poskytují statistické údaje o daných typech. Nejčastějšími zdroji prostorových dat jsou letecké či satelitní snímky, tedy data získaná pomocí metod dálkového průzkumu Země (DPZ) (např. [1,2,3,4]). Vzhledem k tomu, že jsou tyto zdroje dostupné až od přibližně dvacátých let 20. století, nezachycují starší období, kdy díky politicko-ekonomickým událostem docházelo k výrazným změnám v krajině. Pro zachycení těchto změn se v podmínkách střední Evropy osvědčily mapy starých vojenských mapování, která byla prováděna na území rakousko-uherské monarchie, resp. Pruska, Saska a Bavorska a jejich nástupnických států (např. práce [5,6,7,8,9,10,11,12]).

Sledování změn využívání krajiny na podkladě starých map spočívá v několika krocích. Prvním je georeference těchto map, druhým jejich vektorizace a třetím překryv vektorizovaných vrstev, čímž je umožněna jejich následná interpretace. Na rozdíl od metod DPZ nelze v případě interpretace starých map v prostředí GIS zcela využít automatizovanou klasifikaci, proto jsou tyto mapy vektorizovány manuálně. Pro vektorizaci lze použít několik metod, jednou z nich je metoda tzv. postupné interpretace, další pak metoda tzv. zpětné interpretace.

Tento článek srovnává obě výše zmíněné metody, jmenovitě jejich poziční přesnost z hlediska následné interpretace, objektivitu/subjektivitu při jejich používání a jejich uplatnění pro studie v různých měřítcích.

Metody

Metoda tzv. postupné interpretace spočívá ve vektorizování map, tj. vymezení ploch podle předem definovaných kategorií využívání krajiny, nezávisle na sobě. Výsledkem je přesný obraz mapy ve vektorové podobě, který v sobě nese veškeré nepřesnosti způsobené mapovatelem, původním zpracovatelem mapy a georeferencí.

Při použití metody tzv. zpětné interpretace je výchozí mapou mapa současná, která má reprezentovat nejpřesnější a nejkvalitnější dílo. Tato mapa je zvektorizovaná bez jakékoli úpravy a je proto totožná s mapou ze stejného období získanou pomocí předchozí metody. Od takto získané mapy se odvíjí vektorizace mapy z předchozího období – hranice vymezených ploch se mění pouze v případě, že se jedná o skutečnou změnu oproti výchozí mapě. Zvektorizovaná mapa slouží jako podklad pro vektorizování mapy starší atd. Metoda zpětné interpretace má odstranit nepřesnosti způsobené mapovatelem, původním zpracovatelem mapy a georeferencí.

Jako mapové podklady byly použity mapy na pomezí velkého a středního měřítka: mapy 2. rakouského vojenského mapování z období 1836-1852 v měřítku 1:28 800, mapy 3. rakouského vojenského mapování z období 1876-1880 v měřítku 1:25 000, československé vojenské topografické mapy z let 1952-1955 a 1988-1995 v měřítku 1:25 000 a základní mapy České republiky z období 2002-2006 v měřítku 1:10 000.

Mapy 2. rakouského vojenského mapování, pokrývající území českého království, byly získány v digitální podobě v rámci spolupráce s Laboratoří geoinformatiky Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Tyto mapy byly georeferencovány na oddělení Geomatiky Západočeské univerzity (ZČÚ)

v Plzni, pomocí programu MATCART [13]. Jejich průměrná polohopisná chyba se pohybuje kolem 11 m [14].

Mapy 3. rakouského vojenského mapování jsou skenovány na bývalém a současném pracovišti autorů. Ve spolupráci s doc. Václavem Čadou z oddělení Geomatiky ZČÚ v Plzni byly tyto mapy georeferencovány rovněž pomocí programu MATCART, vyvinutého na ČVUT. Vzhledem k polohopisné chybě, která v případě map na území Moravy však dosahovala až 120 m, bylo překročeno k opětovnému georeferencování mapových listů, u nichž byla naměřena chyba větší než 50 m, na pracovišti autorů za použití programu ArcGIS, verze 9.x s pomocí vlíčovacích bodů. Polohopisná chyba se po této georeferenci pohybovala v rozmezí 10-20 m [13].

U map z 50. i z 90. let 20. století probíhalo skenování a georeferencování na oddělení Aplikací GIS v Brně. Průměrná polohopisná chyba činila 10-15 m [13].

Základní mapy ČR v měřítku 1:10 000 jsou součástí vrstvy ZABAGED.

Pro sledování změn využívání krajiny bylo vymezeno devět typů: 1 – orná půda, 2 – trvalý travní porost, 3 – zahrada a sad, 4 – vinice a chmelnice, 5 – les, 6 – vodní plocha, 7 – zastavěná plocha, 8 – rekreační plocha a 0 – ostatní. K dosažení jisté míry generalizace pro výstupní měřítko 1:50 000 byly vektorizovány plochy větší než 0,8 ha.

Vektorizace a následné analýzy, resp. úpravy probíhaly v programu ArcGIS firmy ESRI, konkrétně ArcInfo, verzi 9.2.

Pro testování metod byla vybrána dvě modelová území, z nichž jedno reprezentuje relativně stabilní oblast z hlediska využívání krajiny, druhé oblast dynamickou. Tato území byla vymezena na základě kladu listů vojenských topografických map v měřítku 1:25 000 – jedná se vždy o jeden mapový list. Stabilní oblast – čtverec M-33-118-B-c – ukazuje zemědělsky využívané území Dolnomoravského úvalu v okolí Velkých Pavlovic, Rakvic, Příklad a Zaječí, pro které jsou typické velké bloky orné půdy, vinice a sady. Rozloha této oblasti je 8496,2 ha. Vzhledem k jejímu charakteru využívání ji můžeme považovat za reprezentanta jednoduššího území z hlediska mozaikovitosti. Dynamická oblast – čtverec M-33-120-B-a – představuje podhorskou oblast Bílých Karpat v okolí Lopeníku, Vyškovce, Starého Hrozenkova, Vápenice, Komni, Březové a Bystřice pod Lopeníkem, s převahou lesních porostů a typickou mozaikou luk, polí a extenzivních sadů. Rozloha oblasti je 7778,5 ha a reprezentuje složitější území.

Výsledky

Srovnání metody postupné a metody zpětné interpretace bylo provedeno ve třech rovinách. První rovinou byla samotná vektorizace, druhou statistické vyjádření změn využívání krajiny a třetí prostorové vyjádření těchto změn.

Při použití metody postupné interpretace jsou zvektorizované mapy geometricky přesným (vzhledem k danému rastrovému podkladu) generalizovaným obrazem jejich rastrového podkladu. Na zpracování jednoho mapového listu se může podílet více pracovníků, kteří se specializují na interpretaci map z vybraného období, čímž dochází k zajištění jednotné interpretace v rámci tohoto období a v rámci rozsáhlejšího území a také k urychlení prací.

Metoda zpětné interpretace značně urychlila vektorizaci moderních soudobých topografických map, tj. map z 50. a 90. let 20. století, v případě listu M-33-118-B-c - jednodušší oblasti z hlediska mozaikovitosti využívání krajiny. V případě složitějšího území listu M-33-120-B-a došlo spíše k opačné situaci, tedy k zpomalení prací, a to i v případě moderních soudobých topografických map. Toto zpomalení bylo zapříčiněno nejednoznačným určováním, které odchylky od novější mapy jsou způsobeny chybou mapovatele, resp. zpracovatele, popř. georeferencí, a které odchylky jsou skutečnou změnou. Nejednoznačnost vyplývala jednak z toho, že byla v rámci vektorizace prováděna censální generalizace (vektorizace pouze ploch větších než 0,8 ha – ovšem tato generalizace byla prováděna i v případě metody postupné interpretace) a tudíž nebyly vektorizovány všechny plochy, jednak bylo zjištěno, že, především na starších mapách z 2. a 3. rakouského mapování, se v rámci daného mapového listu zakres ploch typů využívání krajiny v některých případech shoduje se

zákresem stejných ploch na předchozích (rozuměj novějších) mapách, zatímco zákres ploch posunutých od těchto relativně identických ploch ve stejném mapovém listu o cca 500 m libovolným směrem je zcela odlišný.

Jak již bylo řečeno, změny ve využívání krajiny lze vyjádřit statisticky a prostorově. Pro statistické vyjádření změn, tj. pro dynamiku jednotlivých typů využívání krajiny, jsou dostačující zvektorizované mapy z jednotlivých období. Vzhledem k nejednoznačnosti vektorizace pomocí metody zpětné interpretace byly výsledné zvektorizované mapy navzájem porovnány, aby bylo zjištěno, jak se od sebe liší výměra jednotlivých typů využívání krajiny. Toto porovnání je vidět v Tabulce 1.

Tabulka 1 Rozdíl (%) mezi jednotlivými typy využívání krajiny mezi metodou postupné interpretace a metodou zpětné interpretace (- znamená, že se typ v daném mapovém listu nevyskytuje)

typ	M-33-118-B-c				M-33-120-B-a			
	1840	1880	1950	1990	1840	1880	1950	1990
1	0.26	0.01	0.09	0.17	-0.16	0.49	0.77	0.26
2	0.08	0.17	-0.04	0.01	0.24	0.04	-0.04	0.27
3	0.07	0.00	-0.03	0.03	0.02	-0.13	0.00	0.03
4	-0.28	-0.06	-0.02	0.00	-	-	-	-
5	-0.03	-0.01	0.00	-0.05	-0.15	-0.30	-0.71	-0.48
6	-0.03	-0.02	0.00	-0.03	-	-	-	-
7	0.00	-0.10	0.01	-0.13	0.05	-0.10	-0.05	-0.13
8	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05
0	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00

Jak vyplývá z Tabulky 1, rozdíly mezi jednotlivými typy využívání krajiny jsou zanedbatelné. Relativně větší rozdíly se vyskytují spíše u složitějšího listu M-33-120-B-a (a to v případě orné půdy a lesů) než u jednoduššího listu M-33-118-B-c. Z této tabulky lze rovněž rozpoznat, které typy využívání krajiny jsou při použití metody zpětné interpretace náchylné k nadhodnocování plochy a které k podhodnocování. Tendence k nadhodnocování je patrná u orné půdy, trvalých travních porostů a rekreačních ploch, tendence k podhodnocování pak u lesů, vinic, vodní plochy a zástavby.

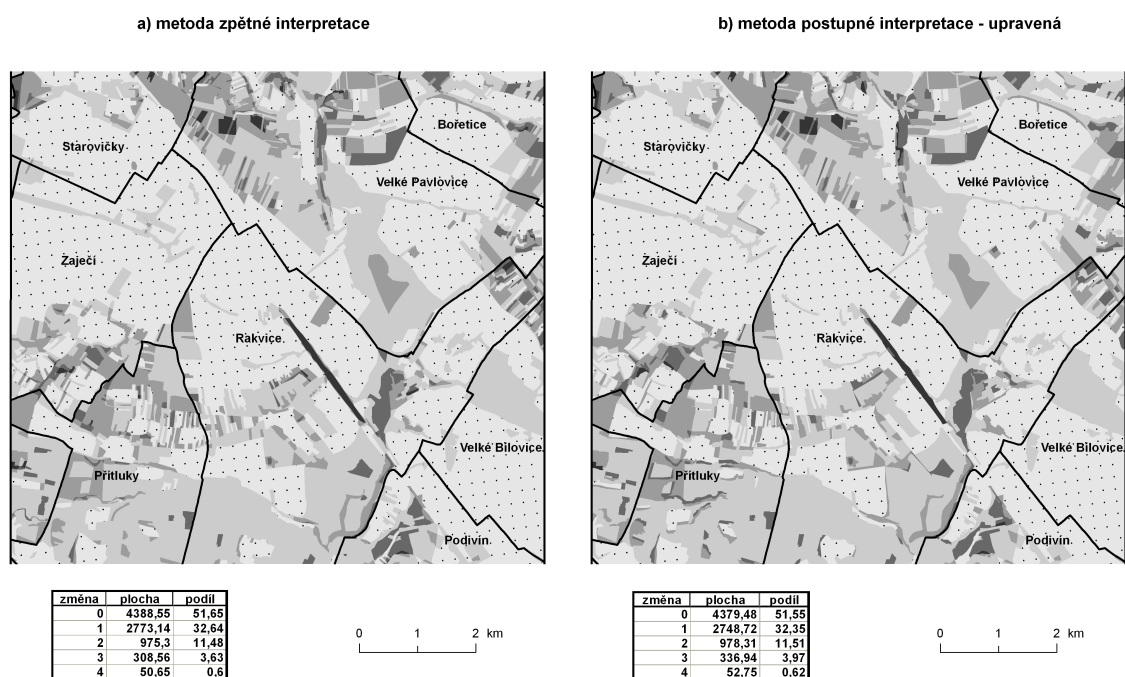
Prostorové vyjádření změn, tj. přesná alokace změn typů využívání, jak z kvantitativního (celkový počet změn v rámci sledovaného období) tak z kvalitativního hlediska (změny z jednoho typu využívání na druhý) se zjistí překryvem zvektorizovaných map. Při překryvu zvektorizovaných map vznikají do určité míry tzv. zbytkové polygony, které často mají protáhlý tvar a malou až nulovou výměru. Tyto zbytkové polygony mohou do určité míry zkreslit výsledky, což je aktuální v případě studií zabývajících se malými územími.

Zvýšený výskyt zbytkových polygonů je typický pro metodu postupné interpretace. Metoda zpětné interpretace zbytkové polygony do určité míry eliminuje, ale i při jejím použití se mohou objevit. Z kvantitativního hlediska zbytkové polygony vzniklé při metodě postupné interpretace mohou zkreslovat výsledky maximálně o 2-3% v rámci jednoho mapového listu měřítka 1:25 000. Pokud jsou však zvektorizované vrstvy ošetřeny pomocí určitých nástrojů dostupných v prostředí GIS, dojde k eliminaci těchto zbytkových polygonů a tím i k zamezení zkreslení výsledků, jak je patrné z Tabulky 2.

Tabulka 2 Podíl počtu změn typů využívání krajiny (%) na celkové ploše u použitých metod v testovaných územích

změna	M-33-118-B-c			M-33-120-B-a		
	zpětná interpretace	postupná interpretace-původní	postupná interpretace-upravená	zpětná interpretace	postupná interpretace-původní	postupná interpretace-upravená
0	51.55	50.12	51.55	39.26	37.34	39.38
1	32.35	31.73	32.35	32.62	30.34	32.58
2	11.51	12.4	11.51	20.74	22.08	20.85
3	3.97	4.82	3.97	6.54	8.57	6.2
4	0.62	0.93	0.62	0.85	1.67	0.97

Z vizuálního/kvalitativního hlediska jsou po eliminaci zbytkových polygonů základní stabilní/nestabilní plochy zachovány, malé plošky se mohou do určité míry lišit (viz Obrázek 1 a 2), což může u případových studiích zabývajících se malými územími ve velkém měřítku zkreslovat výsledky. Odlišnost stability/nestability malých plošek však může být dána nejednoznačností, resp. subjektivitou při použití metody zpětné interpretace (viz výše).



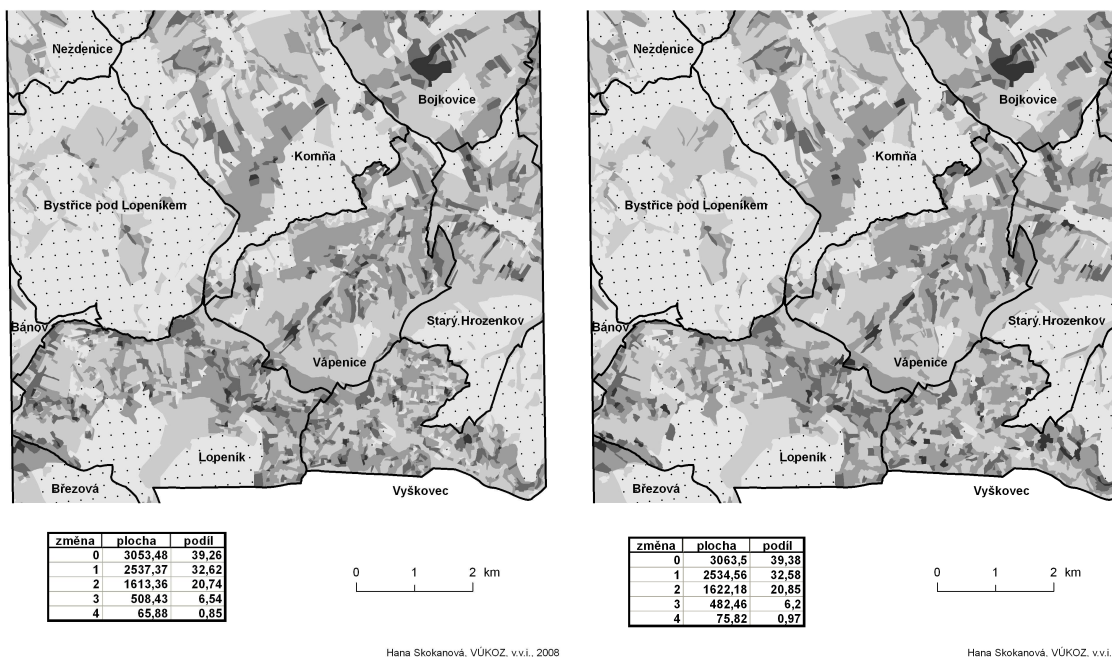
Hana Skokanová, VÚKOZ, v.v.i., 2008

Hana Skokanová, VÚKOZ, v.v.i., 2008

Obrázek 1 Rozdíl mezi počtem změn podle metody zpětné interpretace (a) a metodou postupné interpretace (b) upravenou podle předem stanovených kritérií na listu M-33-118-B-c

a) metoda zpětné interpretace

b) metoda postupné interpretace - upravená



Hana Skokanová, VÚKUZ, v.v.i., 2008

Hana Skokanová, VÚKUZ, v.v.i., 2008

Obrázek 2 Rozdíl mezi počtem změn podle metody zpětné interpretace (a) a metodou postupné interpretace (b) upravenou podle předem stanovených kritérií na listu M-33-120-B-a

Závěr

Cílem příspěvku bylo srovnat dvě různé metody, které se používají při vektorizaci starých topografických map pro účely analýz změn využívání krajiny. Jedná se o metodu tzv. zpětné interpretace a metodu tzv. postupné interpretace. Tyto dvě metody byly srovnávány z hlediska procesu samotné vektorizace a z něj vyplývajících odlišností výměr vektorizovaných prvků, tj. výpočtu statistických změn typů využívání krajiny, a z hlediska prostorového vyjádření změn typů využívání krajiny jak po kvantitativní tak po kvalitativní stránce.

Metoda postupné interpretace zachovává topologickou přesnost vzhledem k rastrovému podkladu, na kterém byla vytvořena. Znamená to tedy, že zvektorizované výstupy v sobě nesou veškeré chyby, které byly způsobeny mapovatelem, zpracovatelem původní mapy nebo georeferencí rastrové mapy do příslušného souřadného systému. Pokud se na zpracování většího území (řádově desítky až stovky, resp. tisíce km²) podílí více pracovníků, přičemž jeden pracovník zpracovává rastrové podklady z jednoho období, je touto metodou zajištěna jednotná interpretace těchto podkladů.

Nevýhodou metody postupné interpretace je výskyt mnoha zbytkových polygonů, které vznikají při překryvu zvektorizovaných vrstev a mohou z vizuálního hlediska zkreslovat výsledky. Tyto zbytkové polygony však mohou být vcelku zdárně odstraněny pomocí nástrojů nabízených programy GIS.

Výhody metody zpětné interpretace jsou následující:

1. mapové výstupy ve vektorové podobě jsou relativně očištěny od chyb způsobených mapovatelem, zpracovatelem původní mapy resp. georeferencí,
2. do značné míry se eliminuje výskyt zbytkových polygonů,
3. v případě jednodušších oblastí z hlediska mozaikovitosti využívání krajiny se značně urychlí vektorizace moderních soudobých topografických map, tj. map z 50. a 90. let 20. století; v případě složitějších map je však vektorizace velmi zpomalena.

Jako obrovská nevýhoda se jeví značná subjektivita při samotné vektorizaci map, která vyplývá z rozdílné kvality zákresu ploch jednotlivých typů využívání krajiny především na mapách ze starších období (2. a 3. rakouské vojenské mapování). Rovněž pokud je použita censální generalizace, je rozhodování, u které plochy byla změna průběhu hranice daného typu skutečná a ne výsledek špatného zákresu/georeference, velice subjektivní.

Pokud jsou zpracovávány větší celky, které jsou v rámci urychlení rozděleny na celky menší, a které má na starost jeden zpracovatel, nastává nebezpečí, že interpretace jednoho časového období se bude v těchto menších celcích lišit podle zpracovatele.

Z hlediska výpočtu statistických změn typů využívání krajiny nebyla zjištěna významná odchylka mezi oběma metodami. Při použití metody zpětné interpretace může docházet k velmi malému nadhodnocování ploch orné půdy, trvalých travních porostů a rekreačních ploch a k podhodnocování ploch lesa, vinic, vodních ploch a zástavby.

Lze konstatovat, že metoda zpětné interpretace je vhodná především pro zpracovávání menších území na úrovni katastrů či obcí, kdy neprobíhá generalizace. V tomto případě by ale bylo vhodnější použít mapové podklady ve velkých měřítcích, tj. mapy katastrální, resp. letecké snímky. Metoda postupné interpretace je využitelná pro studie za okresy, kraje, resp. celou republiku.

Výzkum byl podpořen výzkumným záměrem MSM 6293359101 Výzkum zdrojů a indikátorů biodiverzity v kulturní krajině v kontextu dynamiky její fragmentace.

Literatura

- [1] Al-Bakri, J. T., Taylor, J. C., Brewer, T. R., "Monitoring land use change in the Badia transition zone in Jordan using aerial photography and satellite imagery", *The Geographical Journal*, vol. 167, pp. 248-262, 2001.
- [2] Alberti, M., Hepinstall, J. A., Coe, S. E., Coburn, R., Russo, M., Jiang, Y. (2005), *Modelling urban patterns and landscape change in Central Puget Sound*, Proceedings of the ISPES joint conference 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas, 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas. [Online]. Available: http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban/Alberti.pdf
- [3] Cardille, J. A., Foley, J. A., "Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data", *Remote Sensing of Environment*, vol. 87, pp. 551-562, 2003.
- [4] Grenzdörffer, G. J. (2005), *Land use change in Rostock, Germany since the reunification - a combined approach with satellite data and high resolution aerial images*, Proceedings of the ISPES joint conference 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas, 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas. [Online]. Available: http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban/grenzdoerffer2.pdf
- [5] Uhlířová, L., "Kulturní krajina Česka na mapách panství z první poloviny 18. století - na příkladech panství Kosmonosy a Tloskov", *Historická geografie, Supplementum I*, pp. 78-82, 2006
- [6] Uhlířová, L., "Současný stav využití starých map pro sledování krajinných změn", *Sborník z konference "Krajina 2002 od poznání k integraci"*, 2002
- [7] Eremiášová, R., Havlíček, M., Mackovčín, P., "Quantitative Analysis of Landscape Development and changes in drainage network based on historical maps: Case study of the surroundings of the town of Kašperské Hory (Czech Republic)", *Silva Gabreta*, vol. 13, pp. 285-300, 2007.

- [8] Skokanová, H. Havlíček, M., "Driving Forces and Land Use Changes in the Lower Dyje River Area, Czech Republic, in the Period 1840-2006", Book of Abstracts, Man in the Landscape Across Frontiers: Landscape and Land Use CHanges in Central European Border Regions, pp. 62, 2007
- [9] Demek, J., Havlíček, M., Mackovčín, P., Slavík, P., "Landscape changes in the Czech Republic 1763-2005: An Assessment Based on Historical Maps and GIS Technology", *Acta Leopoldina NF*, vol. 94, pp. 187-200, 2007.
- [10] Mackovčín, P., Demek, J., Havlíček, M., Slavík, P., Stránská, T., "Landscape development of the Czech Republic in the last 250 years: case study of urban and suburban landscapes of the city of Brno", Proceedings of conference, Implementation of Landscape Ecology in new and changing conditions - 14th International Symposium on Problems of Landscape Ecology Research, 2006 (*in press*)
- [11] Stránská, T. Havlíček, M., "Ecological Assessment of Development and Landuse Changes of Landscape Ivančicko", Conference Proceedings of the 7th Moravian Geographical Conference CONGEO 2007, pp. 54-55, 2007
- [12] Olah, B., "Možnosti využitia historických máp a záznamov pri štúdiu zmien využitia zeme", *Acta Facultatis Ecologiae*, vol. 7, pp. 21-26, 2000.
- [13] Skokanová, H., Havlíček, M., Svoboda, J., "Průběžné výsledky výzkumného záměru MSM 6293359101, části Kvantitativní analýza dynamika vývoje krajiny ČR", Sborník sympozia GIS Ostrava 2008, pp. 44-45, 2008
- [14] Čada, V., "Hodnocení polohové a geometrické přesnosti prvků II. vojenského mapování lokalizovaných v S-JTSK", pp. 82-105, 2006