

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ



CITLIVOST KRAJINNÝCH METRIK K ÚBYTKU PŘÍRODĚ

BLÍZKÝCH PRVKŮ V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: DOC. ING. PETRA ŠÍMOVÁ

DIPLOMANT: Bc. MARTIN KOUDELKA

2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Koudelka

Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

Citlivost krajinných metrik k úbytku přírodě blízkých prvků v zemědělské krajině

Název anglicky

Landscape metrics sensitivity to loss of near-nature elements in agricultural landscapes

---

### Cíle práce

Rámcovým cílem práce je vyhodnotit, do jaké míry odrážejí krajinné metriky úbytek rozptýlené zeleně v zemědělské krajině. Formulace dílčích cílů je úkolem diplomanta.

### Metodika

Diplomant experimentálně vyhodnotí, které krajinné metriky jsou vhodné k posouzení úbytku plošek a linie rozptýlené zeleně ze zemědělské krajiny. Vstupem budou vektorizace nad leteckými snímky na vzorkových lokalitách 1 x 1 km náhodně rozmístěné v české zemědělské krajině (poskytne katedra). Pomocí nástrojů GIS budou simulovány změny, že z krajiny vymizí 10, 20, 30 atd. procent polygonů třídy "přírodě blízké prvky". Diplomant vytvoří Python skript pro automatizaci vstupů do programu FRAGSTATS a v programu FRAGSTATS vypočte krajinné metriky pro reálnou situaci a pro každé procento úbytku. Pomocí párových testů vyhodnotí, v jaké fázi úbytku přírodě blízkých prvků z krajiny začíná která metrika vykazovat statisticky průkazný rozdíl od původního stavu.

## Doporučený rozsah práce

45 – 50 stran

## Klíčová slova

formulace klíčových slov je úkolem diplomanta

---

## Doporučené zdroje informací

- Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry, J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., De Blust, G., De Cock, R., Diekötter, T., Dietz, H., Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, a., Le Coeur, D., Maelfait, J.P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, a., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M.J.M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., van Wingerden, W.K.R.E., Zobel, M., Edwards, P.J., 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *J. Appl. Ecol.* 45, 141–150.
- Buyantuyev, A., Wu, J., 2007. Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis. *Landsc. Ecol.* 7–13.
- Lausch, A., Blaschke, T., Haase, D., Herzog, F., Syrbe, R.U., Tischendorf, L., Walz, U., 2015. Understanding and quantifying landscape structure – A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecol. Modell.* 295, 31–41.
- Lin, Y., Wu, P., Hong, N., 2008. The effects of changing the resolution of land-use modeling on simulations of land-use patterns and hydrology for a watershed land-use planning assessment in Wu-Tu, Taiwan. *Landsc. Urban Plan.* 87, 54–66.
- McGarigal, K., 2015. *Fragstats.Help.4.2.*
- Mõisja, K., Uuemaa, E., Oja, T., 2016. Integrating small-scale landscape elements into land use/cover: The impact on landscape metrics' values. *Ecol. Indic.*
- Neel, M.C., McGarigal, K., Cushman, S. a., 2004. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landsc. Ecol.* 19, 435–455.
- Šímová, P., Gdulová, K., 2012. Landscape indices behavior: A review of scale effects. *Appl. Geogr.* 34.
- Uuemaa, E., Mander, Ü., Marja, R., 2013. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecol. Indic.* 28, 100–106.
- 

## Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

## Vedoucí práce

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Elektronicky schváleno dne 18. 4. 2017

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 18. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2017

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Petry Šímové, a že jsem uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 18. 4. 2017

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí této práce, doc. Ing. Petře Šímové, za odborné vedení této práce, trpělivost a ochotu. Poděkování dále patří mé rodině a blízkým, kteří mi byli při studiu i během této práce oporou.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá citlivostí metrik ke změnám v krajinném pokryvu, zejména k úbytku přírodě blízkých prvků, které jsou klíčové pro udržení biologické diverzity a ekologické stability krajiny. V práci je řešena problematika krajinných metrik jako nástroje pro hodnocení změn struktury krajiny na základě vrstev land cover, vypracovaných dle metodiky v rámci projektu Analýza vývoje krajiny ČR v podrobném měřítku hodnocení.

V softwaru ArcGIS a s pomocí nástrojů Python byl vyvinut postup, který umožňuje simulovat úbytek prvků určité třídy land cover po desetíně jejich celkového počtu. Na vzorku 238 lokalit o rozloze 1 km<sup>2</sup>, ležících v zemědělské krajině v rámci ČR, byl tímto postupem modelován úbytek prvků rozptýlené zeleně ve prospěch zemědělské půdy. Původní i modifikovaná data o krajinném pokryvu byla využita k výpočtu krajinných metrik a tyto metriky byly následně statisticky testovány. Účelem bylo zjistit, při jak velkém rozsahu změn v krajině bude u jednotlivých metrik zaznamenán statisticky významný rozdíl oproti původnímu stavu krajiny.

Hodnocené metriky se vesměs ukázaly jako citlivé ke sledovaným změnám, reakce závisí mimo jiné na použitém tematickém rozlišení. Na úrovni krajiny jsou spolehlivější metriky v hrubším ze dvou použitých tematických rozlišení, dobrými indikátory jsou zejména metriky zaměřené na fragmentaci krajiny. Schopnost detekce změn na úrovni tříd land cover, ve kterých k úbytku dochází, se dle použité klasifikace tolik neliší, a řada metrik reaguje na změnu již v rozsahu odpovídajícím pětině počtu prvků mimolesní vegetace. Tato zjištění je možné vzít v úvahu při hodnocení vývoje zemědělské krajiny pomocí krajinných metrik.

## KLÍČOVÁ SLOVA:

krajinný pokryv, modelování změn, fragmentace, tematické rozlišení, detekce změn

## ABSTRACT

This thesis deals with the sensitivity of landscape metrics to land cover changes, in particular to the decreasing number of near-nature elements, which are key to sustaining ecological stability and diversity in the landscape. Landscape metrics are of concern in relation to using them as a tool for landscape pattern change assessment, based on land cover data layers developed as a part of the „Analýza vývoje krajiny ČR v podrobném měřítku hodnocení“ project.

ArcGIS software with Python tools was used to develop a method, designed to simulate the loss of a specific land cover class in a sequence of steps by ten percent until complete disappearance. This method was applied to a sample of 238 localities within agricultural land in the Czech Republic, where near-nature patches were lost in favor of farmland patches. Landscape pattern metrics were calculated using both original and modified land cover data. These metrics were statistically tested to assess the amount of landscape pattern change, leading to significant changes in particular metric values.

Evaluated metrics seem to be sensitive to observed changes, although their behavior depends, among other factors, on the used thematic resolution. Landscape-level metrics are more reliable with coarser thematic resolution. Especially fragmentation metrics were proven as good indicators. On the class level, metrics sensitivity in classes affected by the loss is not dependent on thematic resolution. Some class-level metrics are able to detect a 20% loss of the initial amount of near-nature elements. These findings might be taken into consideration when assessing agricultural landscapes through landscape metrics.

## KEYWORDS:

land cover, change simulation, fragmentation, thematic resolution, change detection

# OBSAH

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	12
3. Literární rešerše .....	13
3.1 Charakteristiky krajiny.....	13
3.2 Krajinná struktura .....	14
3.2.1 Klasifikace krajinného pokryvu.....	15
3.3 Kvantifikace krajinné struktury .....	17
3.3.1 Krajinné metriky.....	17
3.3.2 Využití krajinných metrik .....	19
3.3.3 Charakteristika vybraných krajinných metrik .....	21
3.3.4 Reakce krajinných metrik na změny .....	26
3.4 Sledování změn v krajině.....	28
3.4.1 Modelování změn v krajině .....	29
3.5 Přírodě blízké prvky v kulturní krajině .....	31
4. Metodika.....	33
4.1 Vstupní data land cover .....	33
4.1.1 Klasifikace land cover .....	34
4.1.2 Vegetace mimo les .....	37
4.1.3 Úprava vstupních dat.....	38
4.2 Simulace úbytku vybraných prvků.....	39
4.3 Výpočet krajinných metrik .....	40
4.4 Statistické testování.....	43
5. Výsledky .....	44
5.1 Metriky v původní krajině .....	44
5.2 Metriky na úrovni krajiny pro LC1.....	47
5.3 Metriky na úrovni krajiny pro LC2.....	48
5.4 Metriky na úrovni tříd pro LC1.....	49
5.5 Metriky na úrovni tříd pro LC2.....	51
6. Diskuse.....	54
7. Závěr .....	58
8. Přehled literatury a použitých zdrojů .....	60



## PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

CA	Class Area
DPZ	Dálkový průzkum Země
ED	Edge Density
GIS	Geografické informační systémy
LC	Land Cover
LPI	Largest Patch Index
LU	Land Use
LUCC	Land Use/Cover Change
MAUP	Modifiable Areal Unit Problem
MSIDI	Modified Simpson's Diversity Index
MSIEI	Modified Simpson's Evenness Index
NP	Number of Patches
PD	Patch Density
PLAND	Proportion of Land
PR	Patch Richness
PRD	Patch Richness Density
RPR	Relative Patch Richness
SHDI	Shannon's Diversity Index
SHEI	Shannon's Evenness Index
SIDI	Simpson's Diversity Index
SIEI	Simpson's Evenness Index
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TE	Total Edge
TTP	Trvalé travní porosty
WMS	Web Map Service

# 1. ÚVOD

Krajina je neustále se měnící systém, který je projevem mnoha různých procesů a výsledkem interakce přírodních a kulturních vlivů v daném prostředí. Dnešní kulturní krajina je ovlivněna řadou historických událostí, které její tvář formovaly a přizpůsobovaly její strukturu měnícím se lidským potřebám (Antrop 2005). Určující charakteristikou krajiny je její prostorová heterogenita, vyjádřená krajinnou strukturou. Ta má na fungování krajiny zásadní vliv, protože veškeré prostorové i časové změny ve struktuře krajiny ovlivňují průběh materiálových a energetických toků, prostupnost a obyvatelnost krajiny, ekologickou stabilitu a řadu dalších vlastností a charakteristik (Lipský 1998).

Tyto charakteristiky lze dnes, díky dostupnosti dat o krajinném pokryvu a technologiím, které je umožňují zpracovávat, poměrně snadno kvantifikovat. Krajinná ekologie vychází z předpokladu, že vnější charakteristiky a procesy v krajině úzce souvisí s její strukturou, a díky tomu lze analýzou této struktury získat lepší představu o stavu a fungování krajiny. Pro tento účel byl vyvinut nespočet krajinných metrik, které mají sloužit jako indikátory různých aspektů krajiny, zejména prostorového uspořádání jejích dílčích součástí (Gustafson 1998; McGarigal 2015). Hlavním účelem krajinných metrik je snaha co nejlépe kvantifikovat a popsat krajinnou strukturu, vzhledem k její zásadní roli v dynamice krajiny. Krajinné metriky se zaměřují na širokou škálu parametrů krajinné struktury a jejich vypovídací schopnosti i reakce na změny v krajině se liší. Různé metriky jsou různě citlivé nejen ke sledovaným charakteristikám krajiny, ale také k tematickému rozlišení, prostorovému rozlišení nebo rozsahu zájmového území (Buyantuyev a Wu 2007).

Krajinné metriky mají využití v monitoringu stavu krajiny a její schopnosti plnit různé funkce, ale také pro dlouhodobé sledování změn, případně i modelování různých scénářů budoucího nebo minulého vývoje (Jaafari et al. 2016). Pro co nejlepší porozumění sledovaným jevům v krajině skrze metriky je nezbytné, aby používané metriky měly dostatečnou vypovídací schopnost ve vztahu ke krajinné struktuře. Také je třeba, aby bylo možné hodnoty metrik dobře interpretovat a díky tomu odhalit příčiny toho, proč sledovaná krajina vypadá právě tak, jak vypadá, a jaké ekologické procesy v ní probíhají (Li a Wu 2004).

V zemědělské krajině mají zdaleka nejvyšší podíl na biodiverzitě přírodě blízké plochy. Vzhledem k tomu, že výskyt řady druhů je vázán na konkrétní typy ploch, lze tyto plochy sledovat pomocí krajinných metrik a využít je jako indikátory biodiverzity (Billetter et al. 2007). Naprosto klíčový z hlediska výskytu a pohybu druhů v zemědělské krajině je význam rozptýlené zeleně, protože každý soliterní strom, remízek nebo křovina může sloužit jako habitat nebo koridor. Je proto důležité tyto prvky zahrnovat do analýz krajinné struktury, abychom lépe porozuměli jejich vlivu na fungování krajiny (Mõisja et al. 2016).

V rámci této práce bude posuzována citlivost krajinných metrik k úbytku prvků rozptýlené zeleně. Podkladem pro zpracování budou vzorky krajinného pokryvu ČR vektorizované a klasifikované dle metodiky vypracované na Katedře aplikované geoinformatiky a územního plánování FŽP ČZU. V prostředí GIS bude simulován úbytek počtu prvků mimolesní zeleně ve prospěch orné půdy a takto upravená data budou podkladem pro výpočet vybraných krajinných metrik, a to na dvou různých úrovních podrobnosti klasifikace. Hodnoty krajinných metrik vypočtené z modifikovaných dat budou srovnávány s hodnotami metrik pro původní krajinu a u každé z nich bude sledováno, při jakém rozsahu změn začne vykazovat signifikantně odlišné hodnoty.

## 2. CÍLE PRÁCE

Diplomová práce se zaměřuje na citlivost krajinných metrik ke změnám v krajinném pokryvu, především k úbytku přírodě blízkých prvků zeleně v zemědělské krajině. V rámci této práce byly vytyčeny následující dílčí cíle:

Vypracování literární rešerše na téma struktury krajiny, problematiky jejího hodnocení pomocí krajinných metrik a citlivosti těchto metrik ke změnám krajinného pokryvu.

Vytvoření postupu a konkrétního nástroje, který umožní modifikaci stávajících dat o krajinném pokryvu, vzniklých v rámci projektu „Analýza vývoje krajiny ČR v podrobném měřítku hodnocení,“ a hodnocení takto simulovaných změn pomocí vybraných krajinných metrik.

Zhodnocení krajinné struktury na základě vypočtených metrik a zjištění rozsahu změn, při kterém začnou jednotlivé metriky vykazovat signifikantně rozdílné hodnoty ve srovnání s počátečním stavem.

## 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Charakteristiky krajiny

Základními rysy krajiny, které krajinná ekologie sleduje a analyzuje, jsou struktura a funkce a jejich změny v čase a prostoru (Forman a Godron 1993). Struktura přitom hraje klíčovou roli v dynamice krajiny, protože představuje provázaný systém různě rozmístěných prvků různého tvaru, velikosti a významu, který sám o sobě plní řadu různých funkcí a je prostorem pro interakci (Lipský 1995). Funkce je definována interakcemi mezi prvky v prostoru, toky energií, materiálu a pohybem druhů. Změna definuje vývoj obou předchozích charakteristik v čase (Forman a Godron 1993).

Jedním ze základních východisek krajinné ekologie je, že ekologické procesy v krajině jsou úzce provázány s dynamikou krajiny jako celku a závislé na interakci mezi ekosystémy. Tento ekologický pohled na problematiku krajinné dynamiky vnesl do oblasti plánování a managementu přírodních zdrojů nový přístup. S rozvojem geografických informačních systémů (GIS) a metod dálkového průzkumu Země se zároveň staly dostupnými nástroje, které pomáhají porozumět fungování krajiny jako celku i jejích jednotlivých částí (McGarigal a Marks 1995). Analýza krajiny je způsob, jak popsat vztahy mezi lidskou činností a změnami v krajině, zvláště v místech se zvýšenou ekologickou hodnotou, kde umožňuje správním orgánům rozhodovat zodpovědně a s ohledem na udržitelný rozvoj (Jaafari et al. 2016). Vyhodnocení vývoje krajinné struktury by mělo přinést odpovědi na čtyři základní otázky: jaké trendy určovaly vývoj ve sledovaném období, jaká byla míra změn relevantních krajinných atributů, jaké faktory zjištěný vývoj zapříčinily a jaký byl stav před výskytem těchto faktorů (Sklenička 2003).

## 3.2 Krajinná struktura

V 80. letech byl vypracován model, který popisuje krajinné struktury jako nepravidelnou mozaiku složenou z oddělených homogenních ploch. Tento koncept, známý jako *patch matrix model* (PMM), popisují podrobně Forman a Godron (1993) a jedná se o jeden z prvních propracovaných modelů krajinné struktury v oboru krajinné ekologie, který je zároveň používán dodnes. Model umožňuje nejen vymezit plochy s relativně homogenním prostředím, ale také kvantifikovat jejich rozmístění v prostoru a diverzitu jejich složek. Na základě tohoto modelu byla vypracována řada indikátorů pro kvantifikaci struktur krajiny. K vývoji v této oblasti krajinné ekologie zásadně přispěl rozvoj technologií a s ním spojené neustálé zvyšování výpočetní kapacity, což značně rozšířilo možnosti zpracování objemných a podrobných rastrových i vektorových dat (Lausch et al. 2015).

Struktura krajiny v modelu PMM je charakterizována prostorovým uspořádáním tří základních složek: krajinné matrice, plošek a koridorů (Forman a Godron 1993; McGarigal a Marks 1995).

- **matrice** (*matrix*) je nejrozsáhlejší a prostorově nejspojitější krajinná složka, v dynamice krajiny je hlavním řídicím prvkem,
- **plošky** (*patch*) jsou menší plochy v prostoru, obvykle obklopené matricí, ohraničené jinými plochami nebo koridory,
- **koridory** (*corridor*) jsou liniové útvary různé velikosti a délky, v krajině mají nezastupitelnou funkci jako prvek konektivity i jako bariéra.

Alternativní přístup k reprezentaci krajinné struktury se objevil v návaznosti na zvyšování kvality rozlišení senzorů, používaných pro dálkový průzkum Země. Koncept nazývaný *gradient model* (GM) popsali McGarigal a Cushman (2005). Namísto diskrétních, jasně vymezených ploch s homogenním prostředím, reprezentuje GM krajinnou strukturu v podobě kontinuálních dat, složených z pixelů. Základní jednotku, na jejíž úrovni je z pohledu modelu zcela homogenní prostředí, tedy představují právě pixely. Model umožňuje stejně jako PMM kvantifikovat řadu aspektů krajinné struktury, přičemž může reprezentovat mnohem širší škálu charakteristik a vlastností (Lausch et al. 2015).

### 3.2.1 Klasifikace krajinného pokryvu

Jedním z nejpoužívanějších způsobů vyhodnocení povrchu krajiny je krajinný pokryv, pro který se používá také termín land cover (LC). Jde o detailní způsob vyhodnocení povrchu krajiny, který vyjadřuje kombinaci vegetačního pokryvu i využívání krajiny. Příbuzným termínem je land use neboli využití krajiny. Land use (LU) vyjadřuje způsob, jakým je sledovaná plocha využívána. Zahrnuje v sobě biofyzikální i socioekonomickou složku, hodnotí tedy nejen charakter porostu, ale také způsob managementu krajiny a hospodářské využití ploch (Sklenička 2003). Souhrnně se pro land use a land cover používá zkratka LULC. Ačkoli bývají tyto pojmy někdy vzájemně zaměňovány, kategorie LU jsou definovány zejména na základě lidské činnosti, kterou je daná krajina přeměňována či udržována, tedy způsobem, jakým krajinu využívají lidé. Naproti tomu LC se omezuje na popis vegetačního a půdního krytu (Choudhury a Jansen 1998).

Ekologické procesy, krajinné struktury a funkce, které jsou objektem zájmu v krajinné ekologii, jsou do značné míry determinovány krajinným pokryvem a využitím krajiny, vzhledem k tomu, že v současnosti je struktura krajiny na celém světě ovlivněna lidskou činností. Proto se analýzy krajinné struktury zakládají právě na sledování krajinného pokryvu a využití krajiny (Wu a Hobbs 2002). Pro účely hodnocení změn land use a land cover v čase se používá označení LUCC (Land Use/Cover Changes).

Základním požadavkem při mapování LULC je potřeba definice klasifikačního schématu, tedy jasné vymezení kategorií krajinného pokryvu, jinak také zvaných třídy (*classes*). Pro různé účely výzkumu se pochopitelně požadavky na kategorizaci více či méně liší, přesto s rozvojem dálkového průzkumu Země rostla poptávka po standardizovaném klasifikačním schématu. Jedno z prvních takových schémat sestavil Anderson (1976) a skládalo se ze čtyř úrovní klasifikace (též se používá pojem tematické rozlišení). V Evropě vzniklo jako reakce na potřebu mapování území ve velkém rozsahu jednotné klasifikační schéma v rámci projektu CORINE Land Cover. Program CORINE (*Coordination of Information on the Environment*) byl zahájen v roce 1985. Využívá družicových snímků LANDSAT a jeho cílem je zajišťování kvalitních informací o přírodních zdrojích a životním prostředí. Klasifikační schéma CORINE land cover (CLC) je třístupňové a kromě údajů o land cover poskytuje také LCC (*Land Cover Change*), údaje o změnách krajinného pokryvu mezi sledovanými obdobími (Feranec et al. 2007; Uuemaa et al. 2013).

Vliv proměnlivého tematického rozlišení na výsledky analýzy krajinné struktury má řadu neprozkoumaných aspektů, nicméně dosavadní výzkumy ukazují, že chování většiny z nich v reakci na změnu tematického rozlišení je konzistentní (Buyantuyev a Wu 2007). Jedním z možných přístupů, jak analyzovat reakce krajinných metrik na změnu klasifikace, je jejich výpočet z různě reklasifikovaných LULC map, vycházejících ze stejných dat. V návaznosti na dlouhodobý výzkum, který zahrnoval mapování LULC založené na datech z Landsat TM a ETM+, sestavili Buyantuyev a Wu (2007) reklasifikační schéma pro existující mapy krajinného pokryvu, vytvořené v rozmezí 15 let. Původní klasifikace zahrnovala 12 tříd krajinného pokryvu a na základě vytvořeného klíče byla data postupně reklasifikována do 9, 6, 4 a nakonec 2 tříd.

Buyantuyev a Wu (2007) uvádí vliv tematického rozlišení jako jistou formu problému, označovaného jako Problém měnitelné plošné jednotky neboli MAUP (*Modifiable areal unit problem*), který je v geografii znám již desítky let v souvislosti s agregací jevů v prostoru při vymezení hranic ploch. Možností, jak plochy v prostoru vymežit, je nekonečně mnoho, a proto existuje i mnoho variant, jak jsou sledované jevy do těchto ploch agregovány. MAUP je ovšem neoddělitelnou součástí tvorby tematických map a jeho vliv bývá obvykle zanedbáván (Lowell 2008). Mimo to se MAUP v kontextu krajinné ekologie dotýká hned několika dalších témat: vymezení zájmového území, vymezení jednotlivých ploch a také vstupní rozlišení (Uuemaa et al. 2009).



### 3.3 Kvantifikace krajinné struktury

Už od počátku 20. století jsou v oblasti ekologie častým tématem výzkumu změny krajiny, založené na sledování jejich základních složek, jejich plošného zastoupení, prostorové dynamiky a konfigurace (Lipský 1999). Vzhledem k tomu, že krajinná struktura a funkce krajiny jsou propojené a vzájemně se ovlivňují, používají se různé indikátory jako běžná metoda pro zkoumání funkcí krajiny. Snaha o pochopení procesů, které vedou ke změnám krajinného pokryvu, a jejich modelování, je v návaznosti na globální environmentální změny přirozenou součástí dnešních výzkumů v oblasti geomatiky (Jaafari et al. 2016).

Základním smyslem indikátorů je vyjádření komplexních jevů srozumitelnější a jednodušší formou. V krajinné ekologii se od indikátorů očekává, že umožní pracovat s dostupnými daty efektivněji než jen prostým měřením všeho, co měřit lze. Indikátory používané v krajinné ekologii jsou nástrojem pro srovnávání stavu krajiny v čase i prostoru. Toho se využívá ve sledování změn krajiny v čase nebo pro pochopení prostorových vztahů v ekologických procesech (Dramstad 2009). Kvantifikace a analýza krajinné struktury umožňuje hlubší vhled do dynamiky krajiny a zároveň může být výchozím bodem pro další zkoumání. Poskytuje také vhodné indikátory pro monitoring a management v oblasti životního prostředí (Jaafari et al. 2016).

#### 3.3.1 Krajinné metriky

Krajinné metriky (*landscape metrics, landscape indices*) jsou souhrnným označením pro indikátory, určené ke kvantifikaci geometrických a prostorových struktur krajiny, reprezentované v určitém rozlišení a rozsahu (McGarigal 2002). Mohou mít široké využití nejen v rámci krajinné ekologie, ale i v monitoringu a hodnocení biodiverzity, sledování změn ve využívání půdy nebo rozvoje urbanizovaných ploch a cestní sítě. Jsou také někdy využívány jako indikátory toho, jak je krajina schopna plnit různé funkce, mezi které patří funkce informační, produkční, habitatová či regulační (Uuemaa et al. 2009). Krajinné metriky se stále častěji využívají v čím dál širším spektru výzkumů, těžištěm však přesto nadále zůstává sledování změn land use a land cover (Uuemaa et al. 2013).

## Typy krajinných metrik

McGarigal a Marks (1995) uvádí tři základní typy krajinných metrik, které se odlišují úrovní, na které je prováděn jejich výpočet:

- *patch-level* (úroveň ploch) – metriky vyjadřují prostorové parametry a kontext jednotlivých ploch,
- *class-level* (úroveň tříd) – metriky zahrnují všechny plochy stejného typu, ať už se jedná o prostý průměr jejich hodnot, nebo je přikládána větší váha například větším plochám,
- *landscape-level* (úroveň krajiny) – na této úrovni metriky zahrnují do výpočtu plochy v celém rozsahu zájmového území. Podobně jako u předchozí úrovně mohou být jejich hodnoty průměrovány prostým nebo váženým průměrem, případně mohou zohledňovat jejich rozmístění v prostoru. Také však mohou vyjadřovat souhrnné parametry celého území.

Zdaleka ne všechny metriky jsou definovány na všech třech úrovních. Zejména existuje množství metrik, které mají smysl až při agregaci určité množiny ploch, jako je například třída, a existují tedy pouze na úrovni tříd a krajiny (McGarigal 2002).

Metriky lze také rozdělit do skupin podle různých dalších aspektů. Na čtyři kategorie dle povahy vstupních parametrů dělí metriky Herzog a Lausch (2001):

- *patch area metrics* (metriky rozlohy ploch) – metriky odvozené od velikosti ploch, zpravidla různě průměrovaných nebo agregovaných dle třídy a dalších společných vlastností,
- *edge and shape metrics* (metriky okrajů a tvaru) – vyjadřují délku okrajů, případně vyjadřují podobnost tvaru ploch k základním obrazcům, jako například kruh nebo čtverec. Mohou být ukazatelem komplexity tvarů, ale také fragmentace krajiny a vlivu ekotonového efektu,
- *diversity metrics* (metriky diverzity) – vztahují se obvykle ke krajině jako celku, vyjadřují rozmanitost typů ploch, případně vyváženost zastoupení různých typů a velikostí ploch,
- *landscape configuration metrics* (metriky konfigurace krajiny) – odvozují se od rozmístění ploch v krajině a jejich agregace v prostoru.

### 3.3.2 Využití krajinných metrik

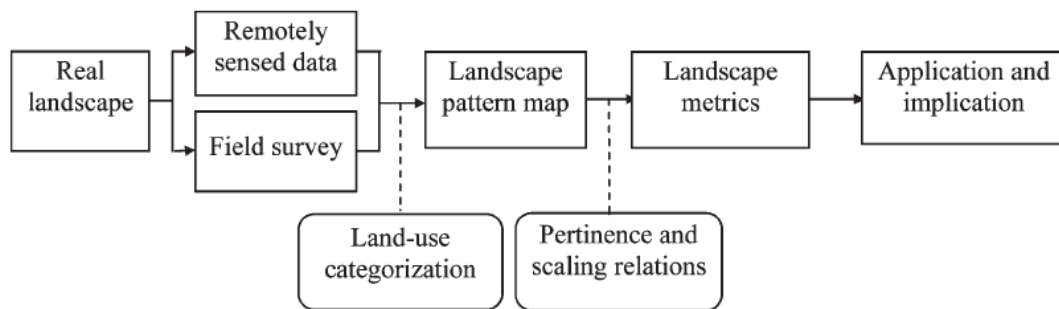
Během několika desetiletí vývoje vzniklo takové množství krajinných metrik, které je až nadbytečné (McGarigal 2002). Dnes je v literatuře i nejrůznějším softwaru k dispozici takové množství krajinných metrik, že může být skutečně obtížné mezi nimi vybrat ty nejvhodnější. Navíc nedostatek znalostí o jejich chování může vést k často oprávněným obavám z nevhodného použití nebo chybné interpretace – a tedy v důsledku i k tomu, že se výzkumníci jejich použití raději vyhnou, aby se nedopustili chyb. Takový stav pochopitelně rozvoji metrik příliš nepřispívá, spíše naopak (Dramstad 2009). V důsledku obrovského množství krajinných metrik rostla spolu s jejich rozvojem také poptávka po množině metrik, které by byly doporučeny k použití pro širší škálu výzkumů. Řada autorů se touto problematikou zabývala, nicméně výsledky se často různí (Cushman et al. 2008; Dramstad 2009).

V současnosti jsou široce používány metriky, založené na výpočtech v softwaru FRAGSTATS (McGarigal a Marks 1995; McGarigal 2015). Jejich silnou stránkou, která pozitivně přispívá ke kvalitnějšímu využívání krajinných metrik, je znalost jejich limitů a dostupnost podrobné dokumentace. Je dobře známo, že hodnoty těchto metrik jsou citlivé na vstupní rozlišení dat, rozsah zájmového území, a také částečně tematické rozlišení. Přestože s sebou nesou některá další omezení, jako například vyšší citlivost na chyby v klasifikaci, které mohou ve výsledných hodnotách metrik vyústit v některých případech i ve značné nepřesnosti, jsou výpočty metrik ve FRAGSTATS obecně považovány za kvalitní standard v oboru (Kupfer 2012). Navíc využívání různých vzorců pro výpočet stejných metrik by mohlo být příčinou toho, že zjištění o chování krajinných metrik si napříč různými výzkumy odporují, proto je dalším významným přínosem využívání FRAGSTATS jako standardního nástroje sjednocení způsobu výpočtu metrik (Šímová a Gdulová 2012).

Řada autorů se pokoušela formulovat požadavky na kvalitní, relevantní krajinné metriky. Jedním z přístupů, který se převážně zaměřuje na analytickou stránku metrik, ale i s ohledem na jejich ekologickou relevanci, je *strength, universality and consistency* (Cushman et al. 2008). Univerzalitou (*universality*) je míněna schopnost metriky reflektovat takové charakteristiky krajinné struktury, které jsou přítomné napříč různými regiony, částmi zájmového území, nebo úrovněmi, na kterých jsou metriky vypočítávány. Síla (*strength*) je mírou rozptylu hodnot, který je metrika schopna postihnout v rámci určitého parametru krajinné struktury.

Konzistence (*consistency*) krajinné charakteristiky je tím větší, čím více je metrika korelována se sledovanými faktory, které má vyjadřovat. Oproti tomu krajinné charakteristiky, které se v rámci metrik chovají nepředvídatelně, jsou považovány za nekonzistentní (Cushman et al. 2008).

Na Obr. 1 je znázorněn schematický postup hodnocení krajinné struktury pomocí krajinných metrik. Kromě značně proměnlivých dat, která jsou sama o sobě do určité míry zkrsleným modelem reálné krajiny, vstupují do procesu další proměnné, které vnášejí do výsledků analýzy jistou míru neurčitosti. Jak uvádí Peng et al. (2007), podstatnou roli hraje způsob klasifikace krajinného pokryvu. Také samotný výpočet metrik může být ovlivněn zvoleným měřítkem, rozsahem i rozlišením vstupního modelu krajiny (Peng et al. 2007; Cushman et al. 2008; Kupfer 2012).



**Obr. 1:** Schéma procesu analýzy krajiny pomocí metrik. Převzato od Peng et al. (2007)

Stanovit optimální kombinaci prostorového rozlišení, prostorového rozsahu a tematického rozlišení, použitelnou ve většině výzkumů, by pravděpodobně nemělo smysl. Tyto parametry je vždy vhodnější zvolit tak, aby odpovídaly zaměření konkrétního výzkumu (Šímová a Gdulová 2012). Za účelem posuzování, jak je která metrika vhodná k hodnocení fragmentace krajiny, bylo navrženo následujících osm kritérií: intuitivní interpretace metriky, nízká citlivost k malým ploškám, monotónní průběh reakce na různé fáze fragmentace, schopnost detekovat odlišnosti ve struktuře, matematická jednoduchost, nízké nároky na vstupní data, matematická homogenita a aditivita. Poslední ze zmíněných kritérií je podstatné pro schopnost metriky hodnotit změny v konfiguraci krajiny nezávisle na zájmovém území (Jaeger 2000).

### 3.3.3 Charakteristika vybraných krajinných metrik

V této kapitole budou popsány základní charakteristiky vybraných krajinných metrik. Jde o metriky, které jsou široce využívány mimo jiné díky své dostupnosti v softwaru FRAGSTATS. Tyto vybrané metriky budou také dále použity v této práci.

#### **Class Area (CA)**

Jde o základní ukazatel o skladbě krajiny, který vyjadřuje zastoupení konkrétního typu plošek v rámci krajiny. Vyskytuje se pouze na úrovni tříd a vypočítá se prostým součtem rozlohy všech ploch dané třídy, v software FRAGSTATS je uváděn v hektarech. CA se využívá jednak jako ukazatel rozlohy jednotlivých tříd v krajině, ale také vstupuje do výpočtu dalších, komplexnějších krajinných metrik (McGarigal a Marks 1995).

#### **Percent of Landscape (PLAND)**

Metrika vychází z CA, vzhledem k tomu, že se jedná o vyjádření relativního podílu třídy na celkové rozloze krajiny. Na rozdíl od CA je možné ji využít pro srovnání hodnot z různě velkých lokalit. Vypočítá se jako suma rozlohy všech ploch dané třídy, vydělená rozlohou krajiny a převedená na procenta (McGarigal a Marks 1995).

#### **Largest Patch Index (LPI)**

LPI je definován jak na úrovni tříd, tak na úrovni krajiny. Jeho hodnota je rovna rozloze největší plochy z dané třídy, respektive z celé lokality, převedené na procenta celkové plochy lokality. Jde tedy o procentuální podíl jedné konkrétní plochy na rozloze krajiny.

#### **Number of Patches (NP)**

Počet ploch je uváděn bez jednotek. Je definován na úrovni tříd i úrovni lokalit. Poskytuje informaci o počtu ploch dané třídy v rámci lokality, respektive o celkovém počtu ploch v krajině. Jedná se o velmi jednoduchou metriku, která ale může sloužit jako základní indikátor diverzity a mozaikovitosti krajiny. Počet ploch hraje také důležitou roli při výpočtu dalších metrik (McGarigal a Marks 1995).

### **Patch Density (PD)**

Vychází z počtu ploch (NP), nicméně umožňuje srovnávat lokality o různé rozloze. Lze ho použít pouze na úrovni tříd, udává se jako počet na 100 hektarů. Je velmi užitečným ukazatelem abundance dané třídy na lokalitě.

$$PD = \frac{n_i}{A} \cdot 10000 \cdot 100$$

### **Total Edge (TE)**

TE je sumou délek okrajů ploch v metrech. Může být sledován na úrovni tříd i na úrovni krajiny. Vzhledem k tomu, že se jedná o absolutní délku okrajů, je pro srovnávání lokalit různé rozlohy vhodnější použít metriku ED.

$$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$$

### **Edge Density (ED)**

Hustota okrajů je dána délkou okrajů, vztaženou na jednotku plochy. Lze ji počítat jak na úrovni tříd, tak na úrovni krajiny. Používá se jako jednoduchý indikátor míry fragmentace krajiny. Udává se v metrech na hektar (McGarigal et al. 2002).

$$ED = \frac{TE}{A} \cdot 10000$$

Edge Density může být užitečný také pro posouzení potenciálního vlivu okrajového efektu na lokalitě, ale sám o sobě nevyovídá nic o typu ploch a jejich rozmístění, a proto je vhodnější jej interpretovat s ohledem na další metriky (Hargis et al. 1998).

### **Shannon's Diversity Index (SHDI)**

Shannonův index diverzity (SHDI) vyjadřuje relativní míru rozmanitosti plošek. Skládá-li se krajina z jediné plošky, je jeho hodnota nulová. S rostoucím počtem různých tříd v území jeho hodnota roste, a zároveň zohledňuje, jak jsou mezi ploškami v území tyto třídy zastoupeny (McGarigal 2015).

$$SHDI = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

### **Simpson's Diversity Index (SIDI)**

Simpsonův index diverzity je bez jednotek a pohybuje se v rozmezí 0 až 1. Čím větší množství různých typů ploch a čím rovnoměrněji jsou tyto plochy v lokalitě zastoupeny, tím se hodnota indexu více blíží 1.

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$$

### **Modified Simpson's Diversity Index (MSIDI)**

Tento index vychází ze zastoupení jednotlivých typů ploch na lokalitě. Je tedy podobný jako SIDI, ale jedná se o záporný logaritmus a může dosahovat hodnot od nuly výše. Nulová hodnota v jeho případě znamená jedinou plochu na celé lokalitě. Čím více typů ploch je v rámci lokality zastoupeno a čím vyrovnanější je jejich podíl, je hodnota indexu vyšší.

$$MSIDI = -\ln \sum_{i=1}^m P_i^2$$

### **Patch Richness (PR)**

Metrika je definována pouze na úrovni krajiny jako počet tříd, které jsou v krajině přítomné (McGarigal a Marks 1995).

### **Patch Richness Density (PRD)**

Tato metrika vyjadřuje počet typů ploch (tříd) na 100 hektarů plochy. Jde tedy o metriku založenou na PR a vztaženou k rozloze lokality.

$$PRD = \frac{m}{A} \cdot 10000 \cdot 100$$

### **Relative Patch Richness (RPR)**

RPR je vyjádřením množství tříd, které se v krajině vyskytují, ve srovnání s maximálním potenciálním množstvím tříd. Udává se v procentech. Je-li v krajině přítomna pouze jedna třída z více možných, hodnota metriky klesá směrem k nule, vyskytují-li se v krajině všechny potenciálně možné třídy, je hodnota metriky 100 %.

$$RPR = \frac{m}{m_{max}} \cdot 100$$

### **Shannon's Evenness Index (SHEI)**

Shannonův index vyrovnanosti (SHEI) je relativním vyjádřením rovnoměrnosti rozmístění a zastoupení jednotlivých plošek. Jeho hodnoty se pohybují mezi 0 a 1. Čím méně vyrovnané je zastoupení tříd na rozloze krajiny, je hodnota SHEI nižší, a naopak, jeho hodnota roste, pokud je velikost ploch mezi třídami rovnoměrně distribuována (McGarigal a Marks 1995).

$$\text{SHEI} = \frac{-\sum_{i=1}^m P_i \ln P_i}{\ln m}$$

### **Simpson's Evenness Index (SIEI)**

Simpsonův index vyrovnanosti nabývá hodnot od 0 do 1. Jde o míru vyrovnanosti zastoupení typů ploch na lokalitě, a čím je hodnota vyšší, tím je zastoupení tříd vyrovnanější. Jde o podíl skutečné (pozorované) hodnoty SIDI ku maximální možné hodnotě SIDI, které je v dané lokalitě možné při daném počtu tříd dosáhnout.

$$\text{SIEI} = \frac{1 - \sum_{i=1}^m P_i^2}{1 - \frac{1}{m}}$$

### **Modified Simpson's Evenness Index (MSIEI)**

Tato metrika je podobně jako SIEI charakteristikou vyrovnanosti zastoupení tříd na lokalitě. Hodnota 0 je vyjádřením stavu, kdy je lokalita tvořena jedinou třídou, a maximální hodnota 1 znamená naprosto shodné zastoupení všech tříd. Vypočítá se jako podíl skutečné MSIDI a maximální možné MSIDI pro daný počet tříd.

$$\text{MSIEI} = \frac{-\ln \sum_{i=1}^m P_i^2}{\ln m}$$

### **Landscape Division Index (DIVISION)**

Metrika DIVISION, definovaná na úrovni krajiny i tříd, je založena na výpočtu stupně koherence, což je pravděpodobnost, že se dva jedinci náhodně umístění na lokalitě budou nacházet ve stejné ploše. Landscape Division Index je pak doplňkem stupně koherence do 1, tedy pravděpodobností, že dva náhodně zvolené body na lokalitě neleží ve stejné ploše (McGarigal 2015).

$$\text{DIVISION} = 1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{A}\right)^2$$



### **Splitting Index (SPLIT)**

Je definován na úrovni tříd i krajiny, přičemž vzorce pro výpočet se mírně liší. SPLIT na úrovni tříd má ve jmenovateli pouze sumu druhých mocnin rozlohy ploch dané třídy, naproti tomu SPLIT na úrovni krajiny sčítá hodnoty pro všechny plochy, jak je uvedeno ve vzorci níže. Může nabývat hodnot od 1 až po druhou mocninu celkového počtu ploch na lokalitě. Čím vyšší hodnota, tím je lokalita fragmentovanější.

$$\text{SPLIT} = \frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$$

### **Effective Mesh Size (MESH)**

Udává se v hektarech. Je definován na úrovni krajiny i tříd a vyjadřuje velikost ploch v případě, že by lokalita byla rozdělena na tolik ploch, kolik je hodnota SPLIT. Za výhodu této metriky je považována její citlivost k malým ploškám. Zároveň je MESH vždy korelována s metrikou DIVISION, která je ale mírou pravděpodobnosti. Používají tedy zcela odlišný přístup k výpočtu a jsou uváděny v jiných jednotkách. Výpočet i hodnoty, kterých může index nabývat, se pro jednotlivé úrovně liší. Na úrovni třídy je minimální hodnotou podíl rozlohy pixelu k celkové rozloze lokality a maximální hodnotou celková rozloha lokality, vzorec pro výpočet je následující:

$$\text{MESH} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A}$$

Jeho minimální hodnotou na úrovni krajiny je rozloha pixelu, maximální hodnotou je rozloha lokality. Na rozdíl od úrovně tříd zahrnuje veškeré plochy, jak je zřejmé z následujícího vzorce (McGarigal 2015).

$$\text{MESH} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A}$$

### 3.3.4 Reakce krajinných metrik na změny

Aby interpretace krajinných metrik byla smysluplná, je nutné porozumět chování krajinných metrik v reakci na změny ve struktuře krajiny. To zahrnuje i znalost jejich omezení, rozsahu a významu hodnot, kterých metrika může nabývat, a v neposlední řadě předvídatelnost jejich reakcí na změny (Hargis et al. 1998). Za jednoduché, předvídatelné a poměrně dobře interpretovatelné krajinné metriky jsou například považovány NP, TE, ED, PR, PD a také MPS (*Mean Patch Size*), nicméně platí, že různé metriky mohou být různě citlivé na změny ve struktuře krajiny (Šimová a Gdulová 2012). Navíc i dobře prozkoumané metriky mohou být zavádějící, pokud není analýza navržena dobře a s ohledem na měřítko a řadu dalších podstatných aspektů ekologických procesů, které jsou objektem zájmu, jak upozorňuje řada autorů (Peng et al. 2007; Cushman et al. 2008; Kupfer 2012).

Li a Wu (2004) identifikují tři hlavní typy problémů, které jsou důvodem nedostatečné provázanosti analýz krajinné struktury s reálnými ekologickými procesy. Prvním jsou nedostatky samotného navrhování analýz, které autoři označují jako *conceptual flaws*. Ty zahrnují zejména neprůkazné vztahy struktury a sledovaných procesů, nebo například rozpor mezi měřítkem sledovaných procesů a měřítkem analýzy. Druhý typ problémů způsobují přirozená omezení, vyplývající z povahy krajinných metrik. Mezi taková omezení patří proměnlivé, někdy dokonce nepředvídatelné reakce na některé změny v krajinné struktuře, a také potíže s interpretací metrik. Třetí hlavní problematická oblast souvisí s nevhodným používáním krajinných metrik, které může být důsledkem nedostatečné znalosti povahy metrik a jejich vzájemné korelace při práci s nimi. Při výběru metrik je třeba zohledňovat jejich schopnosti postihnout žádoucí aspekty krajiny a také předcházet jejich redundanci (Cushman et al. 2008; Peng et al. 2010). Interpretace krajinných metrik je stále poměrně náročná, protože značná část aspektů jejich chování a reakcí na změny není dosud dostatečně prozkoumaná a prověřená. Z analytického a matematického hlediska sice byly metriky podrobně zkoumány, ale teprve v posledním desetiletí se pozornost zaměřuje na otázku, do jaké míry spolehlivé a předvídatelné jsou vztahy mezi metrikou a strukturami, které se s její pomocí snažíme kvantifikovat (Li a Wu 2004; Dramstad 2009; Kupfer 2012).

Citlivost metrik ke změnám v krajině se obvykle liší dle typu krajinné metriky, což vychází ze způsobu jejich výpočtu a vstupních proměnných. Řada metrik je citlivá

pouze na změny určitého typu, a může se stát, že ani změny velkého rozsahu se na jejich hodnotě neprojeví. Zpravidla platí, že metriky založené na velikosti nebo délce okrajů ploch nejsou schopné detekovat změny v prostorovém uspořádání ploch nebo jejich typu (Hargis et al. 1998). Také citlivost k tematickému rozlišení může být různá. Bailey et al. (2007) sledují korelaci biodiverzity s řadou metrik, vypočtených na základě různých úrovní klasifikace. Na základě výsledků usuzují, že vysoké tematické rozlišení (v řádu desítek tříd) není vhodné pro hodnocení celkové biodiverzity, a pro spolehlivější informace o biodiverzitě je lepší využít střední tematické rozlišení. Vysoké tematické rozlišení se naopak ukázalo jako spolehlivé pro specifitější skupiny druhů, protože dokáže odpovídajícím způsobem zohlednit jejich habitatové nároky.

V rámci klasifikačního schématu má kromě tematického rozlišení vliv i neurčitost, která je způsobena nepřesnostmi nebo chybami v klasifikaci. Shao a Wu (2008) upozorňují, že vyšší přesnost klasifikace neznamená sama o sobě přesnější výslednou mapu, a tedy ani nemusí nutně vést ke spolehlivějším krajinným metrikám. Jedním důvodem je, že běžně veřejně dostupná data LULC nemají obvykle vysokou přesnost klasifikace. Druhý důvod, proč nelze vždy spoléhat na přesnost klasifikace, je rozdílnost klasifikace, která se prokázala u některých LULC map vytvořených na základě řízené nebo neřízené klasifikace dat z dálkového průzkumu Země, pokud byla provedena opakovaně.

Dramstad (2009) zmiňuje jako další z problémů analýz krajinné struktury fakt, že dostupných dat je stále větší množství, než jaké je možné zpracovat a následně spolehlivě a smysluplně interpretovat. Neel et al. (2004) také upozorňují, že obvyklé dělení metrik podle charakteristik krajinné kompozice, respektive konfigurace, vede v řadě výzkumů k tendenci vybrat z každé skupiny několik reprezentativních metrik s úmyslem obsáhnout takto různé aspekty krajinné struktury. Nevýhodou tohoto přístupu může být, že metriky spadající do zdánlivě zcela nesouvisejících kategorií někdy vykazují podobné výsledky a jsou tedy redundantní, a naopak, metriky z jedné konceptuální skupiny se v řadě případů chovají zcela odlišně. Proto je vhodné při výběru krajinných metrik zohlednit nejen běžnou konceptuální typologii metrik, ale také typologii zohledňující chování metrik (Neel et al. 2004; Cushman et al. 2008; Sinha et al. 2016).

### 3.4 Sledování změn v krajině

Využívání krajiny ovlivňují dvě hlavní skupiny faktorů: přírodní, jako jsou půdní charakteristiky, reliéf nebo klimatické podmínky, a faktory kulturní (též antropogenní), jako například politická situace, technická vyspělost, hospodářský stav nebo ochrana přírody (Sklenička 2003). Lipský (1999) uvádí pět základních charakteristik krajiny, které jsou ovlivněny změnami využívání kulturní krajiny:

- krajinnou strukturu,
- ekologickou stabilitu,
- biodiverzitu,
- průběh biotických a abiotických procesů,
- typ krajiny a krajinný ráz.

Ve srovnání s většinou přírodních procesů působí antropogenní procesy rychle. Z toho vyplývá, že změny sledované v krátkých časových horizontech desítek až stovek let jsou téměř výhradně způsobeny lidskou činností. Antropogenní procesy mohou mít na krajinu a její charakteristiky přímý vliv, takovými procesy jsou obvykle disturbance jako výstavba, povrchová těžba, orba nebo kácení lesa. Nepřímo ovlivňuje lidská činnost krajinu prostřednictvím zásahu do přírodních procesů, jakými jsou eroze, vodní režim, pedogeneze, sukcese, koloběh látek a energie (Lipský 1999).

Sledování změn krajinného pokryvu založené na krajinných metrikách může kromě kvantifikace strukturních charakteristik krajiny, jako je kompozice a konfigurace, také pomoci identifikovat nejdynamičtější kategorie krajinného pokryvu, mezi kterými probíhají největší a nejčastější změny. Takto proměnlivé kategorie jsou nejčastější příčinou komplexity v krajinné struktuře, proto je dobré jim věnovat pozornost (Jaafari et al. 2016). Metriky tedy mohou sloužit jako poměrně efektivní způsob pro sledování změn krajinného pokryvu v čase, což je také v současnosti zřejmě nejčastějším způsobem jejich využití (Uuemaa et al. 2013).

Krajinné metriky, přestože nemohou nahradit terénní měření, jsou považovány za velmi efektivní a praktické indikátory změn biodiverzity v širším měřítku. S jejich pomocí lze provádět dlouhodobý monitoring na velkém území a s relativně nízkými náklady a využít je jako signály pro včasné varování v místech, kde probíhají změny. Na základě takového dlouhodobého sledování pak lze vytipovat kritická místa, která vyžadují podrobnější měření přímo v terénu (Bailey et al. 2007).

Heterogenita krajiny je podstatným ukazatelem biodiverzity a přispívá také k dalším důležitým funkcím krajiny. Pro vývoj metapopulací je například klíčová konektivita habitatů, pro jejíž měření existuje řada indikátorů v podobě krajinných metrik (Syrbe a Walz 2012). Vyšší pestrost krajinného pokryvu má také pozitivní vliv na řadu dalších funkcí krajiny, jako je estetická hodnota, jejíž objektivní hodnocení je však obtížnější. Z toho důvodu nejsou v současnosti k dispozici standardizované metody, kterými by bylo možné estetické funkce krajiny zahrnout do podkladů krajinného plánování. Krajinné metriky jsou nicméně považovány za jednu z možných cest, jak podobné ekosystémové služby a jejich vliv na vývoj krajiny a její struktury v krajinném plánování zohlednit (Frank et al. 2012).

#### 3.4.1 Modelování změn v krajině

Významnou metodou, která přispívá k porozumění změnám v minulosti, predikování budoucího vývoje, ale i prověřování vlastností krajinných metrik a jejich reakcí, je modelování. Rozvoj modelování je úzce spojen s rozvojem analýz krajinné struktury jako takové, a poskytuje širokou škálu možností využití. Zejména se používá k testování různých alternativních scénářů vývoje krajiny. Zásadním požadavkem pro vytvoření modelů, které budou v dostatečné míře odpovídat skutečnosti, je identifikace nejdůležitějších faktorů, které jsou příčinami změn. Samotné určení těchto klíčových faktorů nicméně nestačí, protože tyto faktory je nutné v modelu co nejvěrněji reprezentovat (Veldkamp a Lambin 2001; Bender et al. 2003). Způsobů, jak změny v krajině modelovat, je nepřehledné množství, a konkrétní řešení závisí na tom, jaká data mají autoři k dispozici a jaký je jejich záměr. Kromě prověřování různých alternativních scénářů vývoje lze modelování využít také pro testování chování krajinných metrik v reakci na kontrolované změny. Fragmentaci krajiny a reakci metrik na modelované změny sledovali Hargis et al. (1998), a za tímto účelem vyvinuli vlastní program *Landscape Simulator for Fragmentation*. Jeho cílem bylo uměle zvyšovat fragmentaci krajiny pomocí tří různých metod modifikace stávajících ploch v krajině, a na modifikovaných datech byly následně testovány reakce metrik. Pro modelování land use v konkrétním zájmovém území za účelem sledování změn charakteru povodí využili Lin et al. (2008) model s názvem CLUE-s (*conversion of land use and its effects*). Tento model umožnil sledovat vliv změny rozlišení na krajinnou strukturu a díky tomu prokázat, že prostorové rozlišení má významný dopad na parametry soustředěného odtoku, plošného odtoku i toky podzemní vody.

Krajinné metriky a jejich citlivost ke změnám jsou také často testovány nejen pomocí modelování změn skutečné krajiny, ale v uměle vytvořené krajině, která se nazývá neutrální model (*neutral model, neutral landscape*). Neutrální model je vytvořen pomocí softwarového generátoru, např. SIMMAP nebo Qrule, který na základě zadaných proměnných umožňuje generovat náhodné struktury. Výhodou tohoto přístupu je, že není ovlivněn strukturou konkrétní krajiny (Peng et al. 2007). Pro interpretaci analýzy krajinné struktury je také vhodné znát předpokládané chování metrik, které bylo otestováno za kontrolovaných podmínek. Neutrální modely umožňují replikovat jednu modelovou krajinu ve velkém množství variant, a tedy jsou ideální pro hlubší statistické prozkoumání chování krajinných metrik (Lustig et al. 2015). Rozpoznávání charakteristických vzorců, struktur a vztahů v krajině je dnes již možné také na bázi umělých neuronových sítí (*neural networks*). Jejich výhodou je schopnost učení a rozpoznávání komplexních jevů i v datech zatížených nepřesnostmi, šumem a chybami. Tento přístup používají v podobě nástroje ANN-CA (*artificial neural network – Markov-Cellular automata*) pro simulaci změn land cover a následné srovnání se skutečným stavem Yang et al. (2016). Na základě dosažených výsledků uvádí, že integrace krajinných metrik do modelu ANN-CA zvýšila přesnost modelování změn jak v kvantitě, tak v prostorovém rozmístění ploch land cover. Nevýhodou neutrálních modelů je, že uměle generované krajiny zcela neodpovídají svou kompozicí a konfigurací tomu, jak skutečné krajiny vypadají. Zejména velké generované plochy jsou tvarově velmi odlišné od těch skutečných, a velmi malých ploch je v neutrálních modelech podstatně větší množství než v realitě, uplatnitelnost poznatků z těchto modelů má tedy své limity (Neel et al. 2004).

### 3.5 Přírodě blízké prvky v kulturní krajině

Přírodě blízké prvky, jako jsou pásy keřových a stromových společenstev na mezích a kamenicích, listnaté remízky uprostřed polí, druhově bohatá mokřadní společenstva v agrární krajině, břehové porosty lemující rybníky, nebo staré vysokokmenné sady, se řadí mezi ekologicky významné segmenty krajiny. To znamená, že se vyznačují jednak trvalostí bioty, a také ekologickými podmínkami, které umožňují výskyt druhů přirozeného genofondu krajiny. Tím zároveň přispívají ke zvyšování ekologické stability krajiny, protože umožňují vývoj přírodě blízkých společenstev (Löw 1995).

Nejdůležitějším parametrem pro druhovou bohatost krajiny je celkový podíl přírodě blízkých prvků, které plní habitatovou funkci. Kromě rozlohy těchto ploch v krajině hraje zásadní roli také jejich prostorové uspořádání a intenzita využití území. Mezi těmito parametry krajinné struktury a výskytem řady druhů rostlin, hmyzu a ptactva byla zjištěna vysoká korelace, a z toho lze soudit, že přírodní a přírodě blízké prvky mají největší podíl na celkové biodiverzitě v zemědělské krajině (Billetter et al. 2007). Aby mohly enklávy přírodě blízkých prvků v krajině plnit svou habitatovou funkci, je třeba, aby dosahovaly určitých minimálních plošných parametrů. Pouze v dostatečně velkých ploškách může vzniknout vnitřní prostředí se specifickými podmínkami a mikroklimatem, které je nezbytné pro fungování plošky jako ekosystému s charakteristickými společenstvy rostlinných a živočišných druhů. Pokud jsou prvky v krajině příliš malé, nemůže v nich vzniknout vnitřní prostředí. To vede ke stavu, kdy jsou krajinné prvky redukovány pouze na ekotony (Sklenička 2003).

Charakter krajiny a podmínky pro výskyt organismů jsou ovlivněny procesem fragmentace krajiny. Ta vede na jedné straně ke zvyšování heterogenity krajiny, ale zároveň může být hrozbou pro existenci některých populací. Jde o proces, při kterém dochází k dělení ploch na menší části (fragmenty), zpravidla oddělené jiným typem ploch, které mohou pro určité organismy fungovat jako bariéra (Sklenička 2003). Fragmentace krajiny způsobená navýšováním podílu zpevněných a urbanizovaných ploch, výstavbou nových liniových staveb a rozrůstáním zástavby do krajiny značně ovlivňuje schopnost krajiny plnit její ekosystémové funkce. Přeměnou kultur na méně intenzivně obhospodařované plochy je sice možné dosáhnout zlepšení ekologické stability na úrovni krajiny, ale snížit fragmentaci krajiny pouhým zvýšením počtu přírodě blízkých ploch nelze. Toho je možné dosáhnout pouze s důrazem na

dostatečnou propojenost a prostorový kontext těchto přírodě blízkých prvků (Frank et al. 2012).

Zvláště v krajině sídelní, průmyslové, ale i intenzivně využívané zemědělské krajině je obvykle málo zbytků přírodě blízkých společenstev. Relativně zásadní ekostabilizující roli proto hrají i plochy s méně hodnotnými společenstvy (Löw 1995). Jak popisují Mõisja et al. (2016), drobné prvky mají obecně významnou roli v hodnocení krajiny, protože přispívají k tomu, že je struktura krajiny komplexnější. Zároveň však bylo zjištěno, že některé krajinné metriky tento vliv drobných prvků na krajinu nejsou schopné zachytit odpovídajícím způsobem. Například metriky vycházející z délky okrajů, jako jsou TE nebo ED, nezaznamenají změnu ve výskytu prvků bodového charakteru, jako jsou solitérní dřeviny nebo malé skupiny stromů, protože obvod těchto ploch je příliš malý.

Cushman (2008) uvádí příklad konverze a reklasifikace dat z různých zdrojů, konkrétně vektorových vrstev land cover i rastrů pocházejících z více projektů, do rastrů s požadovaným tematickým a prostorovým rozlišením, která jsou následně použita jako vstup pro výpočty ve FRAGSTATS. Podobný postup je využíván často, vzhledem k dostupnosti velkého množství dat z dálkového průzkumu Země v rastrovém formátu. Z hlediska rozptýlené a liniové zeleně však má použití rastrů podobným způsobem svá úskalí, zejména v reprezentaci linií. Při hrubším rozlišení je pochopitelně řada prvků zanedbána z důvodu menší rozlohy, než je minimální mapovaná jednotka, ale i při vyšším rozlišení může být rastrová reprezentace linie značně nepřesná. Například mohou být rastrově zobrazené linie přerušeny i tam, kde by měly být jednou spojitou plochou, nebo jejich šířka neodpovídá skutečnosti, případně se šířka v různých částech dané plochy liší. Z těchto důvodů mají vektorová data pro výpočet krajinných metrik svá zřejmá opodstatnění (Jaeger 2007). Pro zahrnutí drobných prvků zeleně do analýzy struktury krajiny je však nutné mít k dispozici data v odpovídajícím měřítku, tedy podrobnější, než je obvyklé u map LULC z dálkového průzkumu Země. Výhodou vektorových dat je možnost reprezentace různých prvků takovou formou topologie, která je jim blízká, nicméně pro potřeby výpočtu krajinných metrik je obvykle třeba vrstva LULC ve formě polygonu. Způsobem, jak drobné krajinné prvky ve formě linií nebo bodů korektně zahrnout do polygonové mapy LULC, se zabývají Mõisja et al. (2016).



## 4. METODIKA

Postup práce se skládá z několika dílčích celků. V prvním kroku byla s pomocí nástrojů softwaru ArcGIS 10.3 tříděna vstupní data a přizpůsobena pro použití v následné analýze. Následně byla provedena simulace změn v krajině a převedení takto vzniklých datových sad do rastrové podoby, která byla vstupem pro výpočet krajinných metrik ve specializovaném softwaru FRAGSTATS. Závěrečnou fází bylo statistické zpracování a interpretace takto vypočítaných hodnot krajinných metrik.

### 4.1 Vstupní data land cover

Pro účely práce byla použita data, poskytnutá Katedrou aplikované geoinformatiky a územního plánování FŽP ČZU. Výchozí datovou sadu tvoří vektorová vrstva ve formátu ESRI shapefile, obsahující celkem 357 vzorků zemědělské krajiny, náhodně rozprostřených po území ČR. Každý z těchto vzorků (lokalit) má podobu území vymezeného čtvercem o velikosti 1 x 1 km. Lokality se skládají z polygonů, manuálně vektorizovaných na základě ortofotosnímků a obsahujících v atributové tabulce informace o land cover.

Vektorizace a klasifikace byla provedena v rámci předchozích prací jako součást výzkumu Analýza vývoje krajiny ČR v podrobném měřítku hodnocení, probíhajícího na Katedře aplikované geoinformatiky a územního plánování FŽP ČZU. Tento projekt byl zaměřen na mapování zemědělské krajiny ČR, intravilán se proto na lokalitách vyskytuje jen v malé míře. V rámci uvedené metodiky jsou popsána jak závazná pravidla vektorizace, tak postupy, které mají za cíl minimalizovat vliv subjektivity zpracovatelů na výsledky (Krčílková a Šimová 2013). Výsledkem vektorizace lokalit byla topologicky čistá vektorová vrstva shapefile v souřadnicovém systému S-JTSK, obsahující polygony klasifikované v atributové tabulce na dvou úrovních land cover, které budou popsány dále.

V rámci zachování konzistentního přístupu nebylo do geometrické ani atributové složky poskytnutých dat zasahováno. Po obdržení dat byla pouze provedena vizuální kontrola všech lokalit pro zjištění rozsahu případných odchylek od metodiky, a také odhalení jevů, které by mohly mít vliv na prováděné analýzy. Data byla vizuálně porovnána se stavem krajiny, zachyceným na současných ortofotosnímcích, poskytovaných ČÚZK jako WMS služba. Při zkoumání vstupních dat jsem také

vycházel z vlastní zkušenosti z vektorizace a klasifikace ortofotosnímků, prováděné v rámci mé předchozí práce. Během této kontroly nebyly zjištěny nedostatky, které by bránily dalšímu zpracování.

#### 4.1.1 Klasifikace land cover

Pro hodnocení krajiny vybraných území byly vymezeny kategorie land cover ve dvou úrovních (dále též LC1 a LC2). Na první úrovni se jedná o 6 tříd, na druhé úrovni o 15 tříd. V Tab. 1 je tato klasifikace vymezena s uvedením číselného označení tříd v podobě dvoumístného kódu. Tato číselná označení jsou přiřazena všem polygonům v podobě atributu LC1\_Kod, resp. LC2\_Kod, přičemž kódy na úrovni LC1 končí nulou a kódy kategorií na úrovni LC2 přebírají první číslici z nadřazené třídy land cover.

*Tab. 1: Klasifikační schéma land cover (Krčilková a Šimová 2013)*

Úroveň 1		Úroveň 2	
Kód	Název	Kód	Název
10	Les	11	Lesní porosty
		12	Bezlesí
20	Zemědělská půda	21	Orná půda
		22	Trvalé travní porosty
		23	Chmelnice
		24	Vinice
		25	Sady
		26	Skleníky
30	Vegetace mimo les	31	Dřevinná vegetace
		32	Vysokobylinná vegetace
40	Vodní plochy	41	Vodní plochy stojaté
		42	Vodní toky
50	Urbanizované a ostatní plochy	51	Zastavěné a zpevněné plochy
		52	Ostatní plochy
60	Komunikace	61	Komunikace

Veškerá pravidla a metodické postupy pro správné zařazení dle klasifikačního schématu uvádí Krčilková a Šimová (2013). Metodika se také odkazuje na doporučené mapové podklady, použitelné jako vodítko pro klasifikaci sporných případů. Ačkoli jedním z cílů metodiky je omezit vliv subjektivity jednotlivců, klasifikace je vždy závislá na úsudku zpracovatele. S ohledem na účel mapování je však kladen důraz na posuzování významu prvků v kontextu okolní krajiny a jejich ekologického významu v daném měřítku.

Dále budou uvedeny základní charakteristiky kategorií land cover a jejich rozlišovací znaky, případně nejdůležitější pravidla pro zařazení ploch do dané třídy. Kategorie Vegetace mimo les, na kterou se tato práce zaměřuje, a která je tedy pro další práci s výsledky a jejich interpretaci klíčová, bude popsána podrobněji v následující kapitole. Úplná charakteristika všech kategorií land cover včetně pravidel pro jejich vektorizaci a klasifikaci je detailně popsána v uvedeném metodickém pokynu (Krčílková a Šimová 2013).

## **Les**

Lešem se rozumí porosty dřevin, které v daných podmínkách plní funkce lesa. Kategorie se dále dělí na Lesní porosty a Bezlesí:

- **Lesní porosty** – plochy větší než 1 ha se souvislým stromovým porostem v různých stádiích vývoje lesa a bez rozlišení věku a typu porostu. Jedná se o hospodářsky využívaný porost. Plocha je součástí lesního celku, nebo je od nejbližšího lesního celku vzdálená nejvýše 100 m. V katastru nemovitostí může být označena jako „les“.
- **Bezlesí** zahrnuje plochy bez lesního porostu, které však lešem logicky souvisejí a nelze je zařadit do jiných kategorií land cover, například může jít o skládky dřeva. Jiné plochy v lese, jejichž rozloha přesahuje 500 m<sup>2</sup>, nebo jsou širší než 20 m, jsou zařazeny do příslušných kategorií land cover dle svého charakteru.

## **Zemědělská půda**

Kategorie obsahuje celkem šest druhů land cover, které vycházejí z typologie zemědělské půdy užívané v katastru nemovitostí. Plochy určené k dočasnému využívání zemědělské půdy, jako jsou dočasná úložiště slámy a sena, siláže a polní hnojiště, nebo plochy spojené s využíváním pozemku (např. napajedla na pastvinách), se považují za součást plochy, na které se vyskytují.

- **Orná půda** – plochy kde se pěstují dočasné plodiny (obilniny, okopaniny, víceleté pícniny). Rozpoznávacím znakem orné půdy je jednotná textura povrchu (stejně stáří, druh a výška) a často viditelné koleťové meziřádky vzniklé pravidelným pojezdem mechanizace v porostu.

- **Trvalé travní porosty (TTP)** – do této kategorie se řadí travní porosty na zemědělské půdě bez stromové a keřové vegetace. Typickými rozlišovacími znaky těchto ploch na leteckých snímcích mohou být i zapojený porost bez kolejových mezířádků (u intenzivně obdělávaných luk mohou být místa bez porostu), někdy patrné kosení nebo rozeznatelné cestičky, napajedla, ohrady, dobytek, nespasené trsy.
- **Chmelnice** se vyznačují pravidelnou texturou, výraznými řádky a čtvercovým uspořádáním polí.
- **Vinice** jsou typické svou texturou, složenou z drobných linií. Stáří nebo způsob hospodaření se mohou lišit.
- **Sady** mají podobnou texturu jako vinice, na snímcích pro ně bývá rozpoznatelnost korun stromků.
- **Skleníky** byly do klasifikace zařazeny z důvodu úplnosti, ale na žádné ze zkoumaných lokalit nebyl jejich výskyt zaznamenán.

### **Vodní plochy**

Do této kategorie jsou zahrnuty veškeré vodní plochy, stojaté i tekoucí, přírodního i antropogenního původu. Dělí se na dvě třídy land cover:

- **Vodní plochy stojaté** – sem patří všechny rybníky, nádrže, jezera, mokřady s volnou vodní hladinou.
- **Vodní toky** – jedná se o všechny povrchové vodní toky (potoky, řeky, kanály).

### **Urbanizované a ostatní plochy**

Zahrnují veškerou zástavbu v extravilánu a intravilánu. Patří sem veškeré obytné i rekreační budovy včetně zahrad, průmyslové a zemědělské areály, dopravní areály (benzinové pumpy, nádraží, parkoviště, kolejová a kontejnerová seřadiště atd.), školské a vojenské objekty, hrady, zříceniny, pevnosti, zámky a zámecké areály, parky, léčebny, elektrárny, funerální objekty (hřbitovy, mohyly, mohylová pole). Plochy této kategorie zahrnují také nejbližší využívané okolí budov, jako jsou zahrady, výběhy a manipulační plochy.

- **Zastavěné a zpevněné plochy** – zástavba v intravilánu i extravilánu (vlastní plochy budov a okolní zpevněné plochy), obytná zástavba, zemědělské a průmyslové areály.

- **Ostatní plochy** – zpravidla jsou antropogenního původu, jde o plochy, které nelze zařadit do žádné z výše popsaných kategorií. Například skládky, lomy, plochy povrchové těžby, výsypky.

## **Komunikace**

Do této kategorie patří cesty se zpevněným povrchem (dálnice, silnice, rychlostní komunikace), cesty bez zpevněného povrchu (polní a lesní cesty) a železniční síť. Parkoviště, odpočívadla, nádraží a další plochy související s provozem dopravních komunikací nebo železnic se řadí do kategorie Urbanizované a ostatní plochy.

### 4.1.2 Vegetace mimo les

Tato kategorie zahrnuje významné ekostabilizující prvky v krajině. Ty nemusí být významné svou rozlohou, ale jsou významné pro zachování biologické diverzity, zejména v intenzivní zemědělské krajině. Jedná se o veškeré prvky rozptýlené zeleně (jako stromořadí, remízky, meze s dřevinami, solitérní dřeviny) a vysokobylinnou vegetaci, tedy přírodní louky, vysokobylinnou vegetaci na hranicích půdních bloků, podél vodních toků, nebo rostoucí na okrajích lesních porostů.

### **Dřevinná vegetace**

Do této kategorie se řadí dřevinná nebo smíšená společenstva v krajině, která nepovažujeme za les. K takovým plochám patří například remízky, stromořadí, solitéry, meze, doprovodná zeleň vodních toků, aleje podél cest a silnic. Znaky pro rozlišení této kategorie od lesních porostů jsou následující:

- složení dřevin neodpovídá typu porostu nejbližšího lesního celku a patrně se nejedná o hospodářsky využívaný porost,
- velikost plochy je zpravidla menší než 1 ha (nemusí být pravidlem; pokud platí první bod, může být plocha i větší než 1 ha),
- pokud se jedná liniovou vegetaci, v převážné části plochy je užší než 10 m, nebo je délka prvku alespoň desetinásobná oproti jeho šířce,
- plocha se nachází ve volné krajině a vzdálenost k nejbližšímu lesnímu celku je zpravidla větší než 100 m,
- vegetace je na pozemku, není lesním pozemkem dle katastru nemovitostí.

### **Stromořadí**

Za stromořadí jsou považovány stromy rostoucí v linii a vyskytující se nejčastěji podél cest. Koruny stromů nemusí být zapojené, ale vzdálenost korun stromů musí být méně než dvojnásobek průměru koruny. Pokud je vzdálenost větší, jsou vektorizovány jednotlivé stromy jako solitérní dřeviny.

### **Solitérní dřeviny**

Jde o významné samostatně stojící dřeviny, vyskytující se v zemědělské krajině, které mají průměr koruny přesahující 10 metrů.

### **Vysokobylinná vegetace**

Do kategorie patří přírodě blízké louky a jiné nezemědělské porosty s bylinným pokryvem. Především jde o okraje lesních porostů, paseky, horské louky, stepní lokality, ruderální vegetace a podobně. Na rozdíl od TTP mají plochy vysokobylinné vegetace proměnlivou texturu, vlivem různé výšky a stáří porostu a druhové pestrosti. Plochy mohou částečně zarůstat dřevinnou vegetací.

Tato kategorie zahrnuje:

- extenzivně kosené, pasené louky,
- louky ponechané ladem,
- okraje lesních porostů a okraje polí,
- bylinné porosty mezi a podél cest a komunikací,
- bylinné porosty kolem vodních ploch, rákosiny,
- bylinné porosty s řídkým výskytem dřevin, nesplňujících parametry kategorie Dřevinná vegetace.

Vektorizují se plochy, které přesahují 500 m<sup>2</sup> rozlohy 10 m šířky. Menší plochy menší jsou hodnoceny jako součást přilehlé plochy. Dřeviny, které se nevektorizují samostatně, mohou být také součástí ploch vysokobylinné vegetace, pokud se na nich vyskytují roztroušeně a nepravidelně (Krčílková a Šimová 2013).

#### **4.1.3 Úprava vstupních dat**

Práce se zaměřuje na prvky zeleně mimo les, vyskytující se v zemědělské krajině. Přestože ve vstupních datech jsou obsaženy lokality zemědělské krajiny, kde jsou plochy zemědělské půdy obvykle dominantním prvkem, na některých lokalitách se vyskytoval vysoký podíl ploch klasifikovaných jako les. Tyto lokality by mohly

výsledky práce negativně ovlivnit, neboť plochy, které přiléhají k větším lesním celkům nebo jsou jimi obklopeny, bývají v rámci klasifikačního schématu obtížně zařaditelné, a tudíž různě klasifikovány, někdy i chybně. To se týká zejména pasek a holin a drobné dřevinné vegetace na nich rostoucí.

Vzhledem k tomu, že výskyt ploch klasifikovaných jako Vegetace mimo les v rámci lesních celků by mohl zkreslit výpočet krajinných metrik a výsledky práce, byly lokality s vyšším zastoupením lesních porostů z dalšího postupu vyloučeny. Jako hranice pro vyřazení lokality z dalšího zpracování bylo stanoveno 25 % a vyšší zastoupení kategorie 10 (Les) na dané lokalitě. Po vyřazení 119 lokalit, které nesplnily kritérium zastoupení lesních porostů, vstupovalo do dalšího zpracování 238 lokalit.

## 4.2 Simulace úbytku vybraných prvků

Simulace úbytku prvků vegetace mimo les a následné kvantitativní hodnocení krajinné struktury bylo prováděno na dvou úrovních, odpovídajících úrovním klasifikace LC1 a LC2 dle klasifikačního klíče. Veškeré dále popisované postupy byly prováděny zvláště pro úroveň LC1 a LC2. Kde není uvedeno jinak, týká se popisovaný postup obou úrovní klasifikace.

Prvním krokem je výběr ploch, jejichž úbytek bude dále simulován, a určení pořadí, v jakém bude ke změně kategorie docházet. Jedná se o veškeré prvky s atributem 30 (Vegetace mimo les) v poli LC1\_KOD. Každému z těchto prvků bylo přiřazeno číslo od 1 do 10, představující pořadí. Číslo byla zapsána do atributové tabulky pomocí jednoduchého skriptu, který zajistil, aby ke každému z čísel náleželo 10 % z celkového počtu vybraných prvků a zároveň aby byla čísla přidělena v rámci tohoto pravidla náhodně. Tento krok byl proveden odděleně pro každou z úrovní klasifikace.

Takto přidělené pořadí je klíčové pro samotnou simulaci změny land cover, neboť představuje určité stadium, etapu změny. První etapou změny je původní krajina, tedy nezměněná vrstva land cover. Další etapy následují v krocích po 10 % až k úplnému vymizení prvků Vegetace mimo les, což odpovídá 100 % úbytku. Pro každou etapu byla vytvořena samostatná vrstva, která byla duplikátem původní krajiny, pojmenovaná dle svého pořadí. Na každé úrovni klasifikace bylo tedy pro simulaci změny land cover připraveno 11 vrstev, celkem 22 vrstev.

Pro změnu atributu land cover byl vytvořen skript v programovacím jazyce Python s využitím knihovny ArcPy, která umožňuje modifikaci vrstev shapefile. Účelem tohoto skriptu je získat z názvu vrstvy informaci o tom, jakou etapu tato vrstva představuje, podle toho vybrat v atributové tabulce veškeré prvky Vegetace mimo les, které této etapě odpovídají, a následně upravit jejich atribut land cover. V případě úrovně LC1 se jedná o změnu atributu LC1\_Kod na 20 (Zemědělská půda), na úrovni LC2 byla provedena změna atributu LC2\_Kod na 21 (Orná půda). V případě původní krajiny (která představuje nultou etapu) tedy nedošlo k žádné změně, u etapy 10 % byly změněny atributy všech prvků s pořadím 1, v etapě 20 % byly změněny prvky s pořadím 1 nebo 2. Tímto postupem byly upraveny všechny vrstvy až po etapu 100 %, která tak již žádný prvek Vegetace mimo les neobsahuje.

Vrstvy ve všech etapách bylo dále nutné rozdělit dle lokalit na samostatné soubory, vzhledem k tomu, že výpočet krajinných metrik probíhá pro každou lokalitu zvlášť, a také z důvodu nespojitosti zkoumaného území, což by při převodu na rastr znamenalo vznik velkého množství přebytečných dat. Modelem vytvořeným v programu ArcMap byly proto vytvořeny složky pro jednotlivé etapy a pomocí iterace funkce Split byly vrstvy v každé etapě rozděleny do samostatných vrstev dle lokality.

Veškeré takto vzniklé vektorové vrstvy, tedy krajinný pokryv v 11 různých etapách změny krajinného pokryvu pro každou z 238 lokalit na každé ze dvou úrovní klasifikace byly převedeny na rastr ve formátu GeoTIFF. Hodnotou rastru je atribut LC1\_Kod v případě změny na úrovni LC1, respektive LC2\_Kod pro úroveň. Rastry mají rozlišení 0,25 m. Celkem se jedná o 5236 rastrových vrstev.

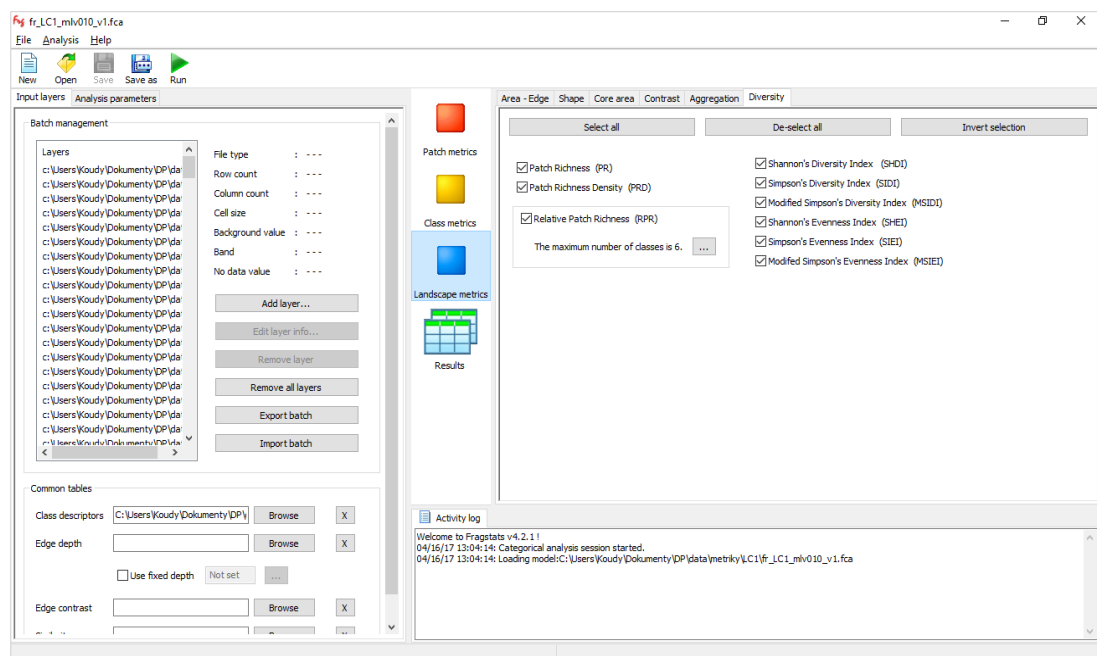
### 4.3 Výpočet krajinných metrik

K výpočtu krajinných metrik byl využíván software FRAGSTATS 4.2 (McGarigal 2015). Vstupními daty pro výpočet jsou rastrové vrstvy. Metriky byly vypočteny vždy odděleně pro každou z etap na základě dat ze všech lokalit.

Výstupem výpočtů z programu FRAGSTATS jsou údaje uspořádané v tabulkách formátu CSV (hodnoty oddělené čárkami) s příponami \*.class pro metriky na úrovni tříd, respektive \*.land pro metriky na úrovni krajiny.



Software FRAGSTATS umožňuje nastavit řadu parametrů, které ovlivňují průběh analýzy, v panelu *Analysis parameters*. Základním nastavením je výběr způsobu, jakým bude výpočetní algoritmus hodnotit okolí jednotlivých buněk rastru. V této práci bylo zvoleno *8 cell neighborhood rule*, tedy okolí tvořené buňkami, dotýkajícími se hranou nebo rohem. Dalším parametrem je volba *Sampling strategy*. Zde bylo ponecháno výchozí nastavení *No Sampling*, vzhledem k tomu, že tato metoda přistupuje ke každé vrstvě jako k jednomu vzorku krajiny, a jedná o základní a běžně využívanou metodu. Pro výpočet metrik na úrovni tříd, respektive krajiny, byly v rámci nastavení této metody označeny volby *Class metrics*, respektive *Landscape metrics*. Všechny výstupní hodnoty ve formě tabulek byly automaticky uloženy do samostatných souborů, k čemuž slouží volba *Automatically save results*.



**Obr. 2: Prostředí FRAGSTATS s načtenými vrstvami a panelem s vybranými metrikami**

Pro každou etapu na obou úrovních klasifikace byl vytvořen soubor *batch file*, obsahující seznam vstupních vrstev pro danou analýzu. Jedná se o prostý text, uložený ve formátu *Fragstats batch file* (přípona \*.fbt). Pomocí těchto souborů byly hromadně importovány vrstvy pro konkrétní etapu do prostředí FRAGSTATS. Vzhledem k tomu, že vstupem jsou rastry ve formátu GeoTIFF, které jsou čtvercového tvaru a neobsahují žádné buňky hodnoty NoData, nebylo třeba provádět žádná další nastavení rastru. Ukázka prostředí programu s načtenými vrstvami v 1. etapě pro LC1 a zvolenými metrikami na úrovni krajiny je na Obr. 2.

Posledními parametry, které byly před spuštěním analýzy nastaveny, jsou požadované krajinné metriky. V rozhraní programu FRAGSTATS jsou metriky a jejich případné parametry rozděleny jednak podle úrovně (*Patch*, *Class* nebo *Landscape*) a dále do několika panelů dle typu metriky. Mezi zvolenými metrikami je pouze jedna, která vyžadovala dodatečné nastavení dalších parametrů, všechny ostatní byly vybrány pouze zaškrtnutím v odpovídajícím panelu. U metriky RPR bylo třeba nastavit maximální dosažitelný počet tříd při dané úrovni klasifikace, tedy 6 pro LC1 a 15 pro klasifikaci na úrovni LC2.

Na úrovni krajiny (*Landscape level*) byly zvoleny metriky TA, NP, PD, LPI, TE, ED, DIVISION, MESH, SPLIT, PR, PRD, RPR, SHDI, SIDI, MSIDI, SHEI, SIEI, MSIEI. Jedná se o výpočetně relativně jednoduché metriky, které vyjadřují několik základních aspektů kompozice a konfigurace krajiny – jednak množství ploch a jejich rozlohu (např. NP, LPI), dále délku okrajů (ED), zastoupení tříd (RPR), fragmentaci (MESH), diverzitu a vyrovnanost (SHDI, MSIEI). Metrika TA z hlediska analýzy krajinné struktury nemá v tomto případě význam, protože všechny lokality jsou stejně velké, byla však do výpočtu zařazena pro možnost kontroly dat.

Na úrovni tříd (*Class level*) byly vybrány metriky CA, PLAND, NP, PD, LPI, TE, ED, DIVISION, MESH a SPLIT. Podobně jako na úrovni krajiny jsou mezi nimi zastoupeny metriky zohledňující různé parametry, s důrazem na počet a rozlohu ploch, případně zastoupení třídy. Dále jsou zařazeny metriky zaměřené na fragmentaci a délku okrajů.

Program také umožňuje uložit nastavené parametry a načtené vrstvy do souboru *Fragstats categorical model* (přípona \*.fca). Pro každý běh analýzy, tedy pro každou etapu na obou úrovních klasifikace, byla použitá nastavení uložena do samostatného souboru. Jednak pro případné opakování analýzy, a také pro možnost zpětné kontroly použitých nastavení.

## 4.4 Statistické testování

Hodnoty krajinných metrik byly exportovány do programu Microsoft Excel, který umožnil jejich další třídění, zpracování a vizualizaci pomocí grafů. Tato sbírka dat byla také použita k vyhotovení popisné statistiky pro účely lepšího pochopení povahy výsledných hodnot krajinných metrik, rozložení jejich hodnot a základních trendů.

Statistické vyhodnocení bylo realizováno ve statistickém softwaru R 3.1.2. Hladina významnosti pro testování hypotéz byla zvolena  $\alpha = 0,05$ . Nulovou hypotézou je, že hodnoty metrik se mezi původní krajinou a testovanou etapou významně neliší. Tato hypotéza byla postupně ověřována pro všechny hodnoty metrik v každé z etap na obou úrovních klasifikace párovým Wilcoxonovým testem. Každé hodnotě krajinné metriky byl přiřazen atribut (vektor) dle odpovídající etapy a tato data byla následně vyhodnocena pomocí funkce *pairwise.wilcox.test*.

Na úrovni krajiny byly testovány všechny metriky kromě TA. Celkem bylo k dispozici 11 datových sad pro každou etapu, přičemž každá z nich obsahuje 238 hodnot jednotlivých metrik, vzhledem k tomu, že na úrovni krajiny odpovídá jedna hodnota metriky jedné lokalitě. Softwarem R byl proveden párový Wilcoxonův test pro každou kombinaci etap, a výstupem je tak tabulka obsahující p-hodnoty pro všechny kombinace. Nicméně pro účely této práce je postačující pouze její první sloupec, obsahující deset p-hodnot pro kombinaci etap 1 až 10 s etapou 0, tedy s původní krajinou.

Dále byly testovány metriky na úrovni tříd. Zde se počet metrik ve vstupních datových sadách liší podle toho, na kolika lokalitách byly třídy přítomné. Vzhledem k zaměření této práce byly testovány pouze metriky těch tříd, které se v průběhu modelování měnily. Na úrovni klasifikace LC1 se jednalo o třídy Zemědělská půda a Vegetace mimo les, na úrovni LC2 o třídy Orná půda, Dřevinná vegetace a Vysokobylinná vegetace. Výstupem pro každou metriku byla opět tabulka p-hodnot, z níž je relevantní pouze první sloupec o deseti hodnotách (v případě Zemědělské půdy nebo Orné půdy), respektive devíti hodnotách (u Vegetace mimo les, Dřevinné vegetace a Vysokobylinné vegetace), což je důsledkem absence jmenovaných tříd v poslední etapě.

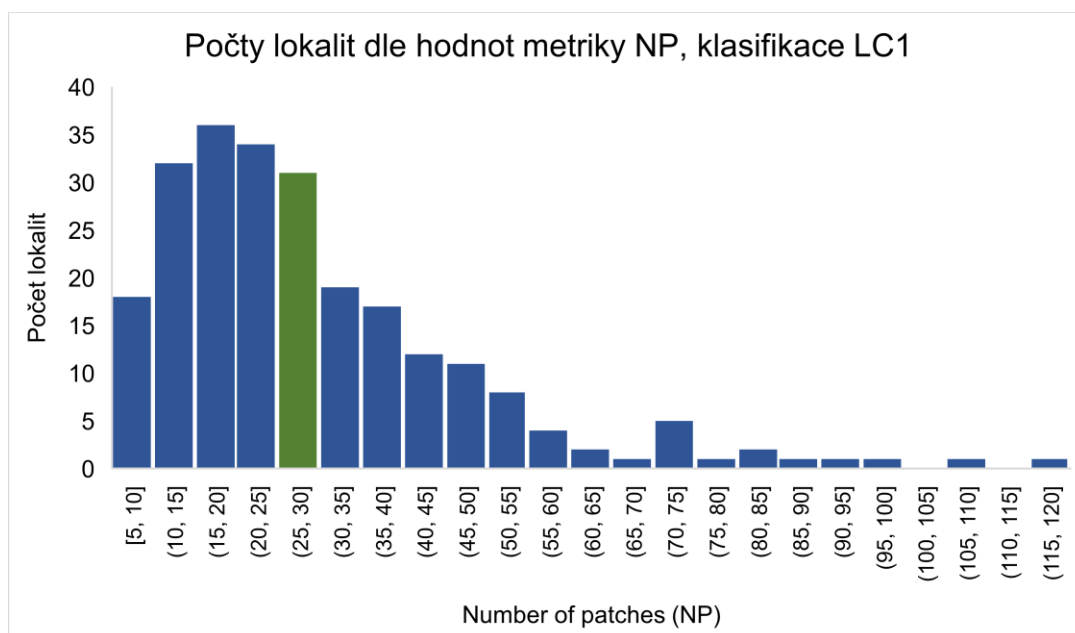
## 5. VÝSLEDKY

V této kapitole budou nejprve popsány zjištěné hodnoty metrik v původní krajině. Znalost těchto dat je podstatná pro pochopení výchozího stavu, vzhledem k tomu, že charakter původní krajiny má nemalý vliv na proces modelování, a tedy i na výsledky testování metrik, které budou uvedeny v dalších kapitolách.

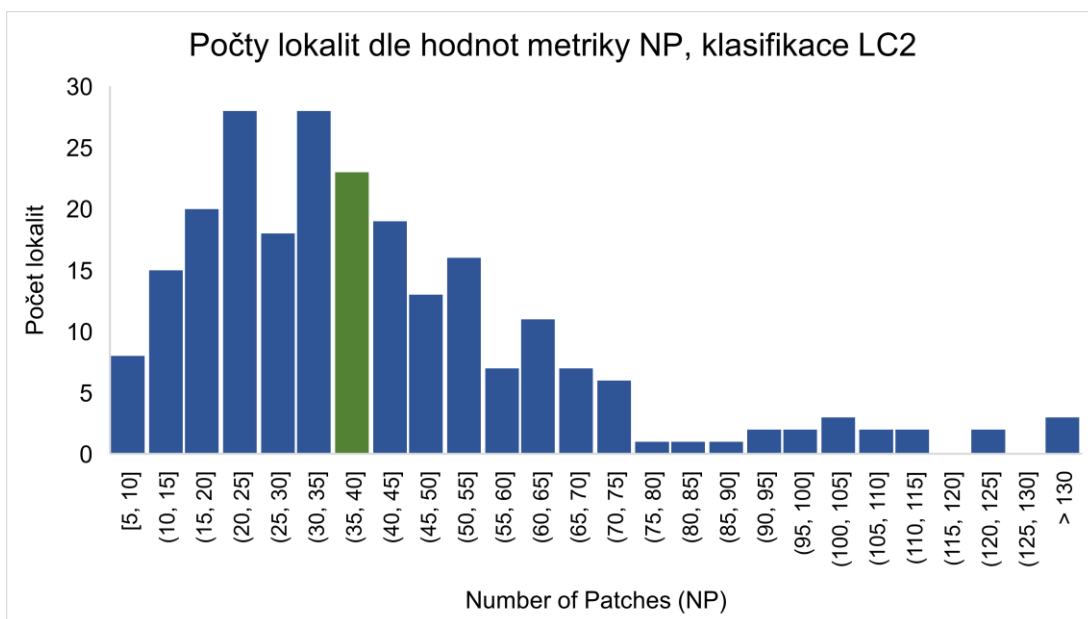
### 5.1 Metriky v původní krajině

Jedním z důležitých vlivů, které do analýzy vstupují, je použité klasifikační schéma. Vzhledem k agregaci dat na hrubší úrovni tematického rozlišení se objevují drobné rozdíly mezi úrovní LC1 a LC2, které budou dále popsány.

Významné rozdíly v rozložení počtu ploch na lokalitách lze zaznamenat v grafech na Obr. 3 a Obr. 4. Zatímco při klasifikaci na úrovni LC1 je průměrná hodnota počtu ploch na lokalitě rovna 30 a medián (v grafech je jeho interval vyznačen zeleným sloupcem) je 25, na úrovni LC2 je průměrný počet ploch 40 a medián má hodnotu 36. Z těchto rozdílů je zřejmé, že úroveň klasifikace bude mít pro hodnoty metrik vliv a dá se tedy očekávat, že reakce metrik na změny mohou být odlišné v závislosti na zvolené úrovni klasifikace.

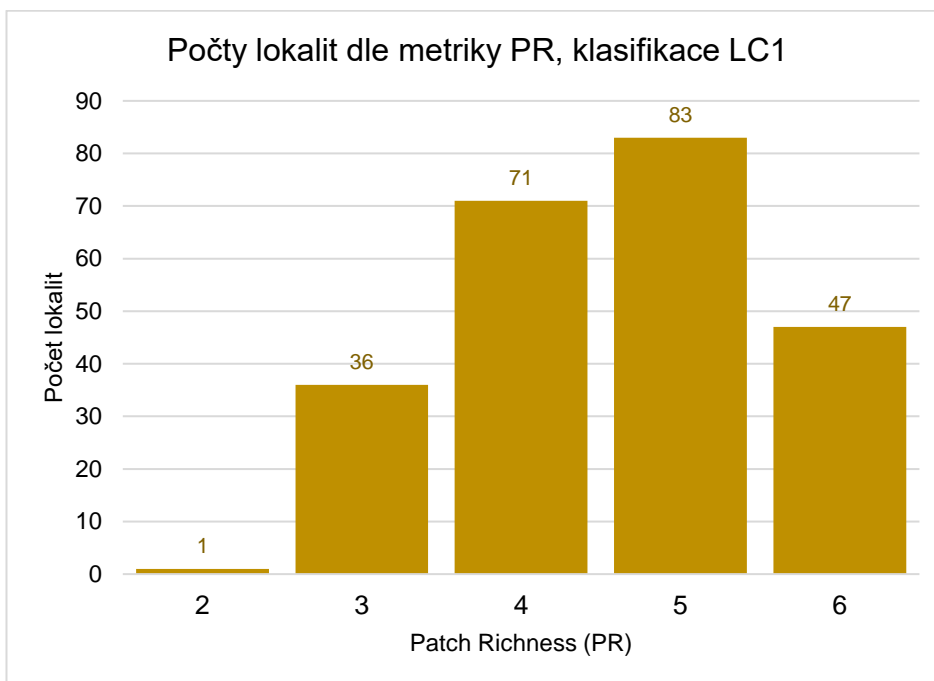


Obr. 3: Histogram lokalit dle metriky NP při klasifikaci LC1



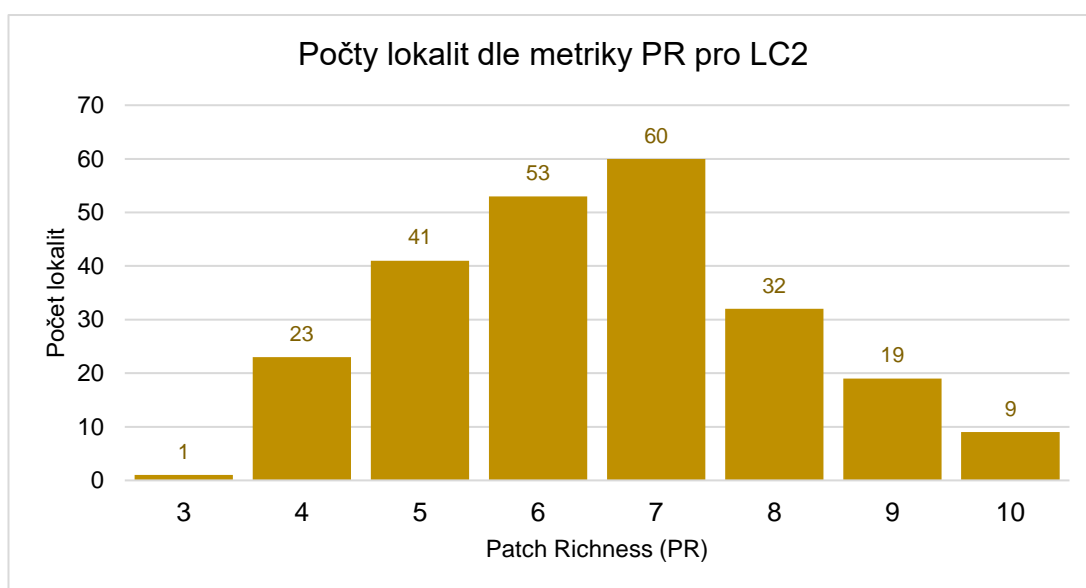
**Obr. 4: Histogram lokalit dle metriky NP při klasifikaci LC2**

Graf na Obr. 5 znázorňuje rozložení počtu tříd na lokalitách. Je zřejmé, že na všech lokalitách jsou přítomné alespoň dvě třídy krajinného pokryvu, přičemž právě dvě třídy jsou přítomny pouze na jedné lokalitě. Patch Richness (PR) na lokalitách je průměrně 4,6 a mediánová hodnota je rovna 5. Většina lokalit tedy obsahuje minimálně 4 různé typy land cover.



**Obr. 5: Histogram lokalit dle metriky PR při klasifikaci LC1**

V případě klasifikace na úrovni LC2 je pochopitelně jiné rozložení Patch Richness (PR), vzhledem k tomu, že má více tříd. Jak znázorňuje graf na Obr. 6, počet tříd na lokalitách se pohybuje v rozmezí od 3 do 10. Průměrný počet tříd je 6,5 a mediánová hodnota této metriky je 7. Rozdíl v rozložení metriky Patch Richness lze pozorovat v tom, že zatímco na úrovni LC1 je na převážné části lokalit vyšší množství tříd, při podrobnější klasifikaci na úrovni LC2 je podstatná část lokalit soustředěna ve střední a levé části histogramu. Je tedy pravděpodobné, že některé třídy land cover na podrobnější úrovni klasifikace jsou vzácnější a málokdy se vyskytují společně, a spíše se na většině lokalit opakuje několik základních tříd.



**Obr. 6:** Histogram lokalit dle metriky PR při klasifikaci LC2

Srovnání mapy land cover na úrovni LC1 a LC2, srovnání vektorové a rastrové reprezentace na příkladu jedné z lokalit a také grafy, znázorňující souhrnné počty a rozlohy dle tříd, jsou uvedeny v kapitole Přílohy.

Výsledky Wilcoxonových testů pro jednotlivé etapy ve srovnání s metrikami vypočítanými pro původní krajinu jsou uvedeny v tabulkách v následujících kapitolách.

## 5.2 Metriky na úrovni krajiny pro LC1

Pro každou sledovanou metriku jsou v tabulce uvedeny p-hodnoty testu pro jednotlivé etapy. Tyto hodnoty vyjadřují pravděpodobnost, že zamítnutím testované hypotézy se dopustíme chyby I. druhu, tedy že pravdivá hypotéza bude zamítnuta. V těch případech, kde je výsledná p-hodnota testu nižší než zvolená hladina významnosti, se hypotéza zamítá. V následujících tabulkách jsou hodnoty, kdy byla pro danou metriku hypotéza poprvé zamítnuta, barevně zvýrazněny.

Na úrovni krajiny bylo testováno 17 metrik, výsledné p-hodnoty testu jsou přehledně uvedeny v Tab. 2. Většina krajinných metrik sledovaných pro úroveň klasifikace LC1 se prokazatelně změnila při úbytku 30 % ploch Vegetace mimo les. Jde o metriky LPI, TE, ED, DIVISION, MESH, SPLIT, SHDI, SIDI, MSIDI, SHEI, SIEI a MSIEI. Při úbytku 40 % byl zaznamenán signifikantní rozdíl i u hodnot NP a PD. Metriky založené na počtu tříd, PR, PRD a RPR, nepřekvapivě zaznamenaly rozdíl až v poslední etapě, kdy na všech lokalitách je o třídu méně.

Tab. 2: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro metriky na úrovni krajiny, klasifikace LC1

Metrika	p-hodnoty dle etapy									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
NP	0,718	0,301	0,090	<b>0,008</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PD	0,718	0,301	0,090	<b>0,008</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
LPI	0,307	0,064	<b>0,008</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TE	0,493	0,140	<b>0,024</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ED	0,493	0,140	<b>0,024</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
DIVISION	0,280	0,039	<b>0,003</b>	0,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MESH	0,280	0,039	<b>0,003</b>	0,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SPLIT	0,280	0,039	<b>0,003</b>	0,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PR	1,000	1,000	0,990	0,990	0,960	0,921	0,881	0,788	0,074	<b>&lt;0,001</b>
PRD	1,000	1,000	0,990	0,990	0,960	0,921	0,881	0,788	0,074	<b>&lt;0,001</b>
RPR	1,000	1,000	0,990	0,990	0,960	0,921	0,881	0,788	0,074	<b>&lt;0,001</b>
SHDI	0,465	0,169	<b>0,048</b>	0,007	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SIDI	0,418	0,129	<b>0,035</b>	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MSIDI	0,418	0,130	<b>0,035</b>	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SHEI	0,391	0,103	<b>0,018</b>	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SIEI	0,381	0,112	<b>0,026</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MSIEI	0,378	0,101	<b>0,020</b>	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

### 5.3 Metriky na úrovni krajiny pro LC2

Pro klasifikaci LC2 bylo stejně jako u předchozí úrovně klasifikace testováno 17 metrik na úrovni krajiny. Všechny metriky prokázaly v reakci na změny v krajině signifikantní změny hodnot, nicméně v pozdějších etapách, než jak tomu bylo u klasifikace LC1, jak je vidět v Tab. 3.

Ve třetí etapě byly zaznamenány změny u metrik NP, PD a LPI, ve čtvrté etapě pak TE, ED, DIVISION, MESH, SPLIT a SHEI. Další změny se prokázaly v 5. etapě u metrik SHDI, SIDI, MSIDI, SIEI a MSIEI. Metriky PR, PRD a RPR zareagovaly na změnu v 9. etapě.

Tab. 3: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro metriky na úrovni krajiny, klasifikace LC2

Metrika	p-hodnoty dle etapy									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
NP	0,411	0,103	<b>0,017</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PD	0,411	0,103	<b>0,017</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
LPI	0,420	0,172	<b>0,071</b>	0,024	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TE	0,560	0,231	0,068	<b>0,011</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ED	0,560	0,231	0,068	<b>0,011</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
DIVISION	0,429	0,158	0,053	<b>0,014</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MESH	0,427	0,158	0,053	<b>0,014</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SPLIT	0,427	0,158	0,053	<b>0,014</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PR	0,711	0,734	0,835	0,906	0,962	0,784	0,489	0,174	<b>&lt;0,001</b>	<0,001
PRD	0,712	0,734	0,836	0,907	0,962	0,784	0,488	0,174	<b>&lt;0,001</b>	<0,001
RPR	0,711	0,734	0,835	0,906	0,962	0,784	0,489	0,174	<b>&lt;0,001</b>	<0,001
SHDI	0,645	0,385	0,189	0,070	<b>0,022</b>	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SIDI	0,611	0,381	0,225	0,110	<b>0,049</b>	0,015	0,004	0,001	<0,001	<0,001
MSIDI	0,611	0,380	0,225	0,110	<b>0,049</b>	0,015	0,004	0,001	<0,001	<0,001
SHEI	0,507	0,263	0,118	<b>0,039</b>	0,010	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,008
SIEI	0,582	0,354	0,203	0,098	<b>0,044</b>	0,013	0,004	0,001	0,001	0,004
MSIEI	0,549	0,316	0,173	0,079	<b>0,034</b>	0,011	0,003	0,001	0,002	0,064

Vývoj hodnot šesti vybraných metrik na úrovni krajiny v reakci na modelované změny je pro obě úrovně klasifikace znázorněn v grafech v sekci Přílohy.



## 5.4 Metriky na úrovni tříd pro LC1

Na úrovni tříd byly testovány dvě datové sady, jednak pro třídu land cover Zemědělská půda (kód 20) a dále pro třídu Vegetace mimo les (kód 30). V rámci třídy Zemědělská půda bylo pro každou krajinnou metriku vzájemně testováno 11 etap, v rámci Vegetace mimo les pak pouze 10 etap, protože tato třída se v závěrečné etapě nevyskytuje.

### Zemědělská půda

Na všech testovaných metrikách se změny v této kategorii signifikantně projeví, jak lze vidět v Tab. 4. Jako nejcitlivější se ukázala trojice metrik DIVISION, MESH a SPLIT, které zareagovaly na změny ve druhé etapě. Ve třetí etapě byla zaznamenána průkazná změna u metrik CA, PLAND a také LPI. Metriky NP a PD zaznamenaly změny v krajině až v páté etapě, což vychází pravděpodobně ze skutečnosti, že nové plochy, které byly dříve zařazeny jako Vegetace mimo les, se po změně (alespoň z hlediska rastrové reprezentace land cover) stanou součástí stávajících ploch Zemědělské půdy, a počet ploch se tím pádem mění méně než jiné charakteristiky. Metriky TE a ED se v této kategorii krajinného pokryvu ukázaly jako méně citlivé ke změnám, jejich hodnoty se signifikantně změnily v šesté etapě.

Tab. 4: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro metriky třídy Zemědělská půda

Metrika	p-hodnoty dle etapy									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
CA	0,405	0,131	<b>0,035</b>	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PLAND	0,405	0,131	<b>0,035</b>	0,005	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
NP	0,743	0,450	0,159	0,052	<b>0,039</b>	0,024	0,007	0,015	<0,001	<0,001
PD	0,741	0,448	0,158	0,051	<b>0,039</b>	0,023	0,007	0,015	<0,001	<0,001
LPI	0,307	0,064	<b>0,008</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TE	0,903	0,697	0,462	0,156	0,063	<b>0,012</b>	0,001	0,001	<0,001	<0,001
ED	0,903	0,697	0,462	0,156	0,063	<b>0,012</b>	0,001	0,001	<0,001	<0,001
DIVISION	0,274	<b>0,038</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MESH	0,274	<b>0,038</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SPLIT	0,275	<b>0,038</b>	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

## Vegetace mimo les

Pro třídu Vegetace mimo les se všechny sledované metriky ukázaly jako velmi citlivé ke změnám (Tab. 5). Desetiprocentní úbytek počtu ploch žádná z metrik nezaznamenala, ale v následující etapě nastaly signifikantní změny u drtivé většiny metrik. Jde o metriky CA, PLAND, LPI, TE, ED, DIVISION, MESH a SPLIT. Další změny byly zaznamenány ve třetí etapě u metrik NP a PD.

Tab. 5: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro metriky třídy Vegetace mimo les

Metrika	p-hodnoty dle etapy								
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
CA	0,088	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PLAND	0,088	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
NP	0,619	0,120	<b>0,012</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PD	0,621	0,120	<b>0,012</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
LPI	0,085	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TE	0,112	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ED	0,112	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
DIVISION	0,089	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MESH	0,074	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SPLIT	0,074	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Všechny tedy dokázaly spolehlivě zachytit úbytek ploch v této kategorii. Vzhledem k tomu, že se změna prokázala u všech sledovaných metrik, lze usuzovat, že jsou pro sledování úbytku ploch v kategorii Vegetace mimo les při této úrovni klasifikace dobrými indikátory změny. Zároveň je z jejich hodnot zřejmé, že řada z nich je navzájem korelována, což se týká zejména metrik, které jsou vyjádřením stejného parametru krajiny, pouze se liší jejich jednotky, nebo se jedná o hodnotu vztaženou relativně k rozloze lokality, která je ovšem v tomto případě vždy stejná.

Srovnání vývoje hodnot metriky ED mezi kategoriemi Zemědělská půda a Vegetace mimo les je znázorněno v grafu v kapitole Přílohy.

## 5.5 Metriky na úrovni tříd pro LC2

Na úrovni tříd byly testovány postupně tři sady dat, podle příslušnosti k třídě land cover: Orná půda (kód 21), Dřevinná vegetace (kód 31) a Vysokobylinná vegetace (kód 32). V rámci každé třídy bylo pro každou z 10 krajinných metrik vzájemně testováno 11 etap. Počet hodnot v testovacím souboru se lišil v závislosti na dané třídě, neboť hodnoty metrik nejsou k dispozici v případě, kdy daná třída není v konkrétní etapě na lokalitě přítomná. Protože vzájemné srovnání etap 10 % až 100 % mezi sebou je v kontextu této práce bezpředmětné, jsou uváděny vždy jen výsledky testování pro danou etapu ve srovnání s původní krajinou.

### Orná půda

Výsledné p-hodnoty pro všechny etapy jsou přehledně uvedeny v Tab. 6. V kategorii Orná půda byl zaznamenán rozdíl proti původnímu stavu metrik CA a PLAND v deváté etapě. Pravděpodobně jde o důsledek toho, že Orná půda je dominantním prvkem krajiny na většině lokalit a nárůst její rozlohy je ve srovnání s celkovou rozlohou nevýznamný. Ostatní metriky se ukázaly jako citlivější indikátory změn. Metriky založené na počtu ploch a na délce okrajů rozdílly zaznamenaly dobře. Změna byla prokázána ve 2. etapě u metrik NP a PD a ve 4. etapě u metrik TE a ED. Metriky DIVISION, MESH a SPLIT u této dominantní třídy krajinného pokryvu, na rozdíl od ostatních tříd, nebyly příliš ke změnám citlivé, signifikantní rozdíl se u nich prokázal v 6. etapě, stejně jako u metriky LPI

Tab. 6: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro hodnoty metrik třídy Orná půda

Metrika	p-hodnoty dle etapy									
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
CA	0,596	0,802	0,954	0,691	0,480	0,278	0,149	0,083	<b>0,040</b>	0,019
PLAND	0,596	0,802	0,954	0,691	0,480	0,278	0,149	0,083	<b>0,040</b>	0,019
NP	0,197	<b>0,003</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PD	0,198	<b>0,003</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
LPI	0,815	0,825	0,518	0,287	0,115	<b>0,038</b>	0,014	0,006	0,001	0,001
TE	0,955	0,435	0,105	<b>0,032</b>	0,006	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
ED	0,955	0,435	0,105	<b>0,032</b>	0,006	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
DIVISION	0,786	0,839	0,487	0,261	0,122	<b>0,041</b>	0,015	0,007	0,002	0,001
MESH	0,791	0,836	0,484	0,260	0,121	<b>0,041</b>	0,015	0,007	0,002	0,001
SPLIT	0,791	0,836	0,484	0,260	0,121	<b>0,041</b>	0,015	0,007	0,002	0,001

## Dřevinná vegetace

Hodnoty pro závěrečnou etapu se v tabulce nevyskytují, vzhledem k tomu, že v této etapě již žádné prvky Dřevinné vegetace nejsou v krajině přítomné. Z výsledků uvedených v Tab. 7 je zřejmé, že v této kategorii, na rozdíl od Orné půdy a Vysokobylinné vegetace, byly zaznamenány signifikantní rozdíly v hodnotách všech metrik už při relativně nízkém procentu úbytku prvků.

Metriky CA, PLAND, NP, PD, TE, ED, LPI, DIVISION, MESH i SPLIT se průkazně změnily v 2. etapě. Lze tedy říci, že změnu v počtu ploch Dřevinné vegetace poměrně dobře zaznamenávají metriky vyjadřující počet ploch, jejich rozlohu, délku okrajů i celkovou fragmentaci. Pro hodnocení úbytku prvků Dřevinné vegetace tedy lze použité metriky označit za citlivé.

Tab. 7: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro metriky třídy Dřevinná vegetace

Metrika	p-hodnoty dle etapy								
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
CA	0,130	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PLAND	0,130	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
NP	0,125	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PD	0,126	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
LPI	0,283	<b>0,023</b>	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TE	0,139	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ED	0,139	<b>0,002</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
DIVISION	0,227	<b>0,013</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MESH	0,199	<b>0,009</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SPLIT	0,197	<b>0,008</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

## Vysokobylinná vegetace

Výsledky statistického testování v kategorii Vysokobylinná vegetace jsou uvedeny v Tab. 8. Vzhledem k tomu, že závěrečné etapě se již žádné prvky Vysokobylinné vegetace nejsou v krajině přítomné, hodnoty pro tuto etapu se v tabulce nevyskytují.

Kromě metriky LPI, která na změny reagovala až v 5. etapě, byla zaznamenána reakce na změnu u všech ostatních metrik již při poměrně nízkém úbytku prvků. Citlivost metrik je podobná jako v předchozí kategorii krajinného pokryvu. K signifikantním změnám došlo u metrik CA, PLAND, NP, PD, TE a ED při úbytku 20 % počtu ploch Vysokobylinné vegetace. Při 30 % úbytku byly zaznamenány změny také u metrik DIVISION, MESH a SPLIT. Reakce metrik na změny v této kategorii tedy nejsou vždy tak průkazné, jako u kategorie Dřevinná vegetace, přesto většina z nich změny zaznamená velmi dobře.

Tab. 8: Výsledky párových Wilcoxonových testů pro metriky třídy Vysokobylinná vegetace

Metrika	p-hodnoty dle etapy								
	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %
CA	0,219	<b>0,024</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PLAND	0,219	<b>0,024</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
NP	0,200	<b>0,007</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
PD	0,200	<b>0,007</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
LPI	0,440	0,251	0,088	0,008	<b>0,001</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
TE	0,213	<b>0,020</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
ED	0,213	<b>0,020</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
DIVISION	0,375	0,148	<b>0,039</b>	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
MESH	0,344	0,116	<b>0,016</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
SPLIT	0,336	0,113	<b>0,016</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Důvodem, proč metriky v kategorii Vysokobylinné vegetace na rozdíl od kategorie Dřevinná vegetace vykazují odlišné chování a mírně menší citlivost ke sledovaným změnám, je pravděpodobně jejich častý výskyt v rámci ploch kategorie Trvalé travní porosty. Při změně land cover z Vysokobylinné vegetace na Ornou půdu tedy nedochází k připojení k větší ploše, na které metriky reagují zřejmě lépe, protože se jedná o pokles fragmentace a délky okrajů.

## 6. DISKUSE

Na obou úrovních klasifikace se ukázalo, že změny krajinného pokryvu se v hodnotách metrik projeví. Rozsah změn v krajině, při kterém se hodnoty metrik začnou signifikantně odchylovat od původní hodnoty, se však liší jak napříč metrikami, tak v závislosti na použitém tematickém rozlišení. Na úrovni tříd reagují metriky různě i v závislosti na tom, jaká třída land cover je sledována.

### **Citlivost metrik na úrovni krajiny**

Obecně lze na základě výsledků říci, že na úrovni krajiny jsou při klasifikaci LC1 metriky citlivější než při klasifikaci LC2. S výjimkou specifické skupiny metrik PR, PRD a RPR, kde se změny projeví až v poslední nebo předposlední etapě, metriky na úbytek prvků mimolesní vegetace reagovaly, v případě klasifikace LC1 většina z nich ve třetí etapě. Na obou úrovních tematického rozlišení reagovaly metriky NP a PD podobně, tedy ve 4. respektive 3. etapě. Na úrovni LC1 byly přitom zaznamenány signifikantní rozdíly již ve 3. etapě u řady metrik, jejichž výpočet je založen na rozloze ploch a dalších parametrech, zatímco hodnota NP a PD je v podstatě vyjádřením počtu ploch. To naznačuje, že tyto dvě metriky nejsou ideální jako „včasné varování“ při úbytku prvků, na druhou stranu jde o metriky, které na obou úrovních klasifikace reagovaly poměrně konzistentně. V tom může být jejich hlavní výhoda. Konzistentní reakci těchto metrik na změnu tematického rozlišení mimo jiné popisuje Peng (2007). V rámci případného dalšího výzkumu by proto mohlo být užitečné ověřit, zda metriky NP a PD reagují konzistentně i při úbytku různých jiných tříd land cover. Pokud by se prokázalo, že jejich citlivost k úbytku přibližně 40 % prvků sledovaných tříd je konzistentní, bude možné je použít jako spolehlivý ukazatel například pro dlouhodobý monitoring nebo pro sledování historického vývoje krajiny.

Za poměrně citlivé, alespoň na úrovni LC1, lze považovat metriky zaměřené na délku okrajů a stupeň koherence. Tedy metriky, které jsou obecně ukazateli fragmentace, ke kterým se řadí TE, ED, DIVISION, MESH a SPLIT (Jaeger 2000). Důvodem, proč tyto metriky reagovaly na úbytek mimolesní vegetace v podrobnějším tematickém rozlišení později, může být vysoká variabilita a nepravidelnost jejich tvarů a velikosti. Zatímco na úrovni LC1 mohou být agregovány do větších a méně nepravidelných ploch, v podrobnější klasifikaci se více projeví jejich členité tvary. To by mohlo vést k mnohem vyšší variabilitě délky okrajů u jednotlivých ploch i variabilnější rozloze,

vzhledem k tomu, že se může jednat jak o solitérní dřeviny reprezentované plochou podobnou kruhu, tak o dlouhé pásy zeleně s členitým okrajem. V důsledku toho metriky jako TE, ED, DIVISION, MESH nebo SPLIT reagují na úrovni LC2 později. Zároveň jsou hodnoty metrik navzájem korelovány, a pravděpodobně by mělo smysl jejich počet v dalších analýzách omezit z důvodu jejich redundance (Cushman et al. 2008). Přestože je metrika LPI poněkud specifická, protože její výpočet je založen na rozloze největší plochy na lokalitě, vykazuje ve sledovaných datech podobné chování jako zmíněná skupina metrik. Její zařazení mezi tyto indikátory, které se ukázaly jako relativně citlivé, by však mohlo být zavádějící, protože ze své definice nereaguje na úbytek jako takový, ale na nárůst rozlohy. Její hodnoty se mění ve chvíli, kdy se změní rozloha největší plochy. Pokud je na lokalitě takovou plochou Zemědělská půda, což je v použitých datech zdaleka nejčastější případ, reaguje metrika LPI na nárůst její rozlohy o zmizelé prvky mimolesní vegetace. Pokud by však dominantní roli v krajině hrál jiný typ krajinného pokryvu, než je některý ze sledovaných, vypovídací schopnost LPI o jejich změnách je značně omezená.

Skupina metrik, která se pro sledování úbytku počtu prvků dané třídy ukázala jako prakticky nepoužitelná, jsou metriky založené na počtu tříd (PR, PRD, RPR). Vzhledem ke způsobu výpočtu, kde hraje zásadní roli počet tříd na lokalitě, je pochopitelné, že hodnota metriky se nemění, dokud se nezmění počet tříd, tedy – v případě této práce – dokud na lokalitě zůstávají nějaké prvky mimolesní vegetace. Za pozornost však stojí, že zatímco na úrovni LC1 došlo k signifikantní změně těchto metrik až v poslední etapě, na úrovni LC2 se rozdíl prokázal už o jednu etapu dříve díky tomu, že třídy, k jejichž úbytku docházelo, byly dvě. Dá se předpokládat, že čím menší by bylo množství lokalit nebo celkové množství ploch dané třídy, tím více by se na hodnotách těchto metrik projevil dřívější pokles počtu tříd na některých lokalitách. Ačkoli tato skupina metrik není k úbytku prvků konkrétní třídy příliš citlivá, má smysl ji do analýzy zařadit jednak proto, že podává cenné informace abundanci tříd na lokalitách, a také proto, že na rozdíl od jiných metrik je citlivá k výskytu vzácných typů ploch. V kontextu dat podrobného měřítka, které byly v této práci použity, může změna hodnot PR, PRD a RPR znamenat poměrně zásadní změnu v krajině.

Významnou skupinou metrik, která se používá pro celkové hodnocení heterogenity krajiny, jsou indexy diverzity a vyrovnanosti. Ty se na úrovni LC2 ukázaly jako

nepříliš spolehlivé, jejich reakce na změny se liší, u většiny se projeví při 50 % úbytku prvků mimolesní vegetace. Na úrovni LC1 se prokázaly signifikantní změny v hodnotách metrik SHDI, SIDI, MSIDI, SHEI, SIEI, MSIEI ve 4. etapě, tedy podobně jako u metrik zaměřených na fragmentaci. To je na jednu stranu pozitivní zjištění, protože tyto indexy byly hojně využívány pro sledování a hodnocení změn krajiny v řadě prací (Jiralová 2014; Pechová 2014; Svobodová 2014 a další). Na druhou stranu už se jedná o poměrně komplexní metriky zahrnující řadu aspektů, a proto tyto metriky nelze zcela jednoznačně interpretovat v krajině, kde probíhají reálné změny. Na změnu tematického rozlišení metriky reagují různě, jak uvádí Buyantuyev a Wu (2007). Také mohou být zatíženy jevem, který popisují Li a Wu (2004) jako necitlivost indexů diverzity a vyrovnanosti k typu ploch. Tyto indexy jsou sice citlivé ke změnám v zastoupení typů ploch, ale vůbec nezohledňují, o jaké typy ploch se jedná. Pokud některá z tříd ze zkoumaného území zmizí, hodnota metriky se dokonce může skokově zvýšit, protože zastoupení ostatních tříd se tak stane vyrovnanějším, což je pravděpodobně také důvod nespolehlivosti těchto metrik na úrovni LC2.

### **Citlivost metrik na úrovni tříd**

Na úrovni tříd lze sledovat změny v úbytku určitého typu prvků podstatně lépe než na úrovni krajiny. Přestože rozsah změn, při kterém metriky začaly vykazovat signifikantně odlišné hodnoty od výchozího stavu, se napříč třídami, úrovněmi klasifikace i metrikami často zásadně liší, je možné sledovat v chování metrik určité souvislosti.

Především se podstatně liší reakce metrik mezi třídami, kde dochází k úbytku (Vegetace mimo les, Dřevinná vegetace, Vysokobylinná vegetace) a třídami, jejichž podíl roste (Zemědělská půda, Orná půda). V kategoriích Orná půda a Zemědělská půda obecně metriky reagovaly na změny v pozdějších etapách, ale vzhledem k tomu, že změny v počtu prvků mimolesní vegetace lze dobře pozorovat v jiných kategoriích, není třeba těmto dvěma třídám věnovat větší pozornost. Výsledky naznačují, že použité metriky jsou k úbytku drobných prvků citlivější než k nárůstu dominantní kategorie. Důvodem je hlavně povaha některých metrik, které reagují na počet ploch, což je parametr, který se u dominantní kategorie téměř nemění. Také hraje roli celkově vysoký podíl těchto dominantních kategorií, kde jejich relativně malý nárůst hraje zanedbatelnou roli i v případě rozlohy nebo délky okrajů.



Podobně jako na úrovni krajiny se poměrně konzistentně projevují metriky NP a PD, které na změny u kategorií mimolesní vegetace reagovaly v rozmezí 20 % až 30 % úbytku. Za spolehlivé ukazatele lze považovat také metriky ze skupiny zaměřené na fragmentaci. S výjimkou třídy Vysokobylinná vegetace na úrovni LC2, kde metriky reagovaly v 3. etapě, se tyto metriky projevily jako velmi citlivé k úbytku prvků ze sledovaných tříd. Za nejspolehlivější indikátory by v tomto ohledu bylo možné považovat metriky TE a ED. Ty jsou s počtem ploch poměrně úzce svázané (Klápště 2015). Podobně jako na úrovni krajiny vykazuje metrika LPI srovnatelné chování se zmíněnými metrikami, což není překvapivé, neboť na úrovni tříd bývá někdy řazena mezi metriky charakterizující fragmentaci (Jaafari et al. 2016).

Vzhledem k tomu, že metriky NP, PD, TE i ED jsou výpočetně poměrně jednoduché, jejich reakce jsou tím pádem předvídatelné a snáze interpretovatelné (Šimová a Gdulová 2012). Navíc je jejich reakce na změny tematického rozlišení konzistentní a poměrně dobře prozkoumaná (Buyantuyev a Wu 2007; Peng et al. 2007), a tedy je lze na základě zjištěných skutečností k použití v analýzách se zaměřením na úbytek určitých prvků doporučit. Metriky MESH, DIVISION a SPLIT nevykazují natolik konzistentní chování napříč všemi třídami, ale v případě zkoumaných tříd mimolesní vegetace se zdají být velmi dobrými indikátory. Výhodou je, že jejich interpretace je poměrně intuitivní, nicméně při výběru metrik v dalších analýzách by zřejmě bylo vhodné vzít v úvahu jejich redundanci (Neel et al. 2004). Na druhou stranu, metrika MESH poměrně efektivně vyjadřuje distribuci rozlohy ploch v rámci dané třídy (Jaeger 2000; Jaafari et al. 2016), což je v takto rozmanitých třídách krajinného pokryvu užitečná informace.

Platnost dosažených výsledků a zjištěných závěrů je pochopitelně limitována použitým rozsahem dat, klasifikačním schématem a také použitým rozlišením rastrů. Některé metriky mohou reagovat jinak, pokud nebudou lokality stejného tvaru nebo rozlohy, jaké byly použity v této práci. Vrstvy land cover byly vytvořeny manuální vektorizací a klasifikací, a tedy je otázkou, zda by bylo možné závěry o citlivosti metrik aplikovat i například na mapy land cover vytvořené řízenou nebo neřízenou klasifikací družicových dat.

## 7. ZÁVĚR

V této práci byla hodnocena citlivost vybraných krajinných metrik k úbytku počtu ploch mimolesní vegetace v zemědělské krajině. Na základě vektorových vrstev land cover, klasifikovaných na dvou úrovních, byly na vzorku 238 lokalit zemědělské krajiny ČR modelovány změny ve vybraných kategoriích. V prostředí ArcGIS byl vypracován postup pro simulaci změny klasifikace ploch v kategorii Vegetace mimo les na kategorii Zemědělská půda, a to v krocích po 10 % počtu ploch první jmenované kategorie. Z takto modifikovaných map land cover byly vypočítány krajinné metriky, které byly následně statisticky testovány párovým Wilcoxonovým testem. Cílem bylo posoudit, při jakém rozsahu změn budou u metrik zaznamenány průkazně odlišné hodnoty od výchozího stavu krajiny.

Krajinné metriky byly v programu FRAGSTATS vypočítány na úrovni krajiny a na úrovni tříd s ohledem na to, aby v analýze byly zastoupeny metriky zohledňující různé aspekty krajiny, jako je podíl kategorií land cover, fragmentace nebo diverzita. Pro tyto metriky byla v každé z celkem 10 etap ověřována hypotéza, že se hodnota metriky neliší od výchozího stavu.

Rozsah změn, při kterém se metriky začnou průkazně lišit od původního stavu krajiny, se u většiny z nich liší v závislosti na použitém tematickém rozlišení. V případě metrik na úrovni krajiny se jako jednoznačně citlivější k provedeným změnám ukázaly metriky vypočítané z dat klasifikovaných na hrubší úrovni rozlišení. Za kvalitní indikátory změn lze v tomto ohledu považovat metriky TE, ED, DIVISION, MESH a SPLIT. Konzistentní reakce na změny vykazují také metriky NP, PD a také LPI, které byly schopny detekovat úbytek v rozsahu mezi 30 % a 40 % počtu ploch na obou úrovních klasifikace. Část metrik se ukázala jako nespolehlivá. Změny v rozsahu mezi 30 % na hrubší úrovni klasifikace zaznamenaly i metriky SHDI, SIDI, MSIDI, SHEI, SIEI a MSIEI, jejich chování je však komplexnější a při posuzování reálných změn v krajině na ně má vliv řada dalších parametrů, citlivost k úbytku mimolesní vegetace se tedy může lišit od zjištěných hodnot.

Úbytek ploch mimolesní zeleně lze dobře pozorovat pomocí metrik na úrovni tříd. Změny se částečně projeví i v kategoriích, kde dochází k nárůstu na úkor mimolesní vegetace. Hlavními a nejspolehlivějšími indikátory jsou však metriky přímo v kategoriích dotčených úbytkem. Mezi citlivé metriky lze stejně jako na úrovni

krajiny zařadit NP a PD, dobrými indikátory jsou MESH, DIVISION, SPLIT a také LPI, tedy metriky hodnotící fragmentaci. Nejspolehlivějším ukazatelem úbytku jsou metriky TE a ED, které ve sledovaných kategoriích detekují úbytek už při 20 % poklesu počtu ploch.

Hodnocené metriky jsou široce využívány nejen pro sledování vývoje krajiny. Hlavním přínosem práce je tedy zjištění, jak tyto metriky mohou reagovat v případě, že mezi sledovanými časovými obdobími dojde k úbytku rozptýlené zeleně, která je přitom zásadní pro ekologickou stabilitu, migraci druhů a celkovou diverzitu a estetiku krajiny. Při hodnocení vývoje krajiny je tedy možné vzít v úvahu i zjištěnou citlivost krajinných metrik k úbytku přírodě blízkých prvků. Zároveň je třeba zohlednit, že v reálné krajině se do hodnot metrik promítá řada dalších vlivů, jejichž odhalení a zhodnocení z hlediska citlivosti metrik může být předmětem dalšího zkoumání.

## 8. PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

- ANDERSON, James Richard, 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. US Government Printing Office.
- ANTROP, Marc, 2005. Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning*. 1., roč. 70, č. 1–2, s. 21–34. ISSN 01692046.
- BAILEY, Debra, Regula BILLETER, Stéphanie AVIRON, Oliver SCHWEIGER a Felix HERZOG, 2007. The influence of thematic resolution on metric selection for biodiversity monitoring in agricultural landscapes. *Landscape Ecology*. Kluwer Academic Publishers, roč. 22, č. 3, s. 461–473. ISSN 0921-2973.
- BENDER, Darren J, Lutz TISCHENDORF a Lenore FAHRIG, 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landscape Ecology*. roč. 18, č. 1, s. 17–39. ISSN 1572-9761.
- BILLETER, R, J LIIRA, D BAILEY, R BUGTER, P ARENS, I AUGENSTEIN, S AVIRON, J BAUDRY, R BUKACEK, F BUREL, M CERNY, G DE BLUST, R DE COCK, T DIEKÖTTER, H DIETZ, J DIRKSEN, C DORMANN, W DURKA, M FRENZEL, R HAMERSKY, F HENDRICKX, F HERZOG, S KLOTZ, B KOOLSTRA, A LAUSCH, D LE COEUR, J P MAELFAIT, P OPDAM, M ROUBALOVA, A. SCHERMANN, N SCHERMANN, T SCHMIDT, O SCHWEIGER, M.J.M. SMULDERS, M SPEELMANS, P SIMOVA, J VERBOOM, W.K.R.E. VAN WINGERDEN, M ZOBEL a P.J. EDWARDS, 2007. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology*. Blackwell Publishing Ltd, roč. 45, č. 1, s. 141–150. ISSN 00218901.
- BUYANTUYEV, Alexander a Jianguo WU, 2007. Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis. *Landscape Ecology*. roč. 22, č. 1, s. 7–13. ISSN 1572-9761.
- CUSHMAN, Samuel A., Kevin MCGARIGAL a Maile C. NEEL, 2008. Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*. roč. 8, č. 5, s. 691–703. ISSN 1470160X.
- DRAMSTAD, Wenche E, 2009. Spatial metrics - useful indicators for society or mainly fun tools for landscape ecologists? *Norwegian Journal of Geography*. Routledge, 12., roč. 63, č. 4, s. 246–254. ISSN 00291951.
- FERANEC, Jan, Gerard HAZEU, Susan CHRISTENSEN a Gabriel JAFFRAIN, 2007. Corine land cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia). *Land Use Policy*. roč. 24, s. 234–247. ISSN 02648377.
- FORMAN, Richard T. T. a Michel GODRON, 1993. *Krajinná ekologie*. Academia. ISBN 9788020004642.
- FRANK, Susanne, Christine FÜRST, Lars KOSCHKE a Franz MAKESCHIN, 2012. A contribution towards a transfer of the ecosystem service concept to landscape planning using landscape metrics. *Ecological Indicators*. roč. 21, s. 30–38. ISSN 1470160X.
- GUSTAFSON, Eric J, 1998. *Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? Ecosystems*. Springer-Verlag, roč. 1, č. 2, s. 143–156. ISSN 1432-9840.
- HARGIS, Christina D, John A BISSONETTE a John L DAVID, 1998. The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology*. roč. 13, č. 3, s. 167–186. ISSN 1572-9761.
- HERZOG, Felix a A LAUSCH, 2001. Supplementing Land-Use Statistics with Landscape Metrics: Some Methodological Considerations. *Environmental Monitoring and Assessment*. roč. 72, č. 1, s. 37–50. ISSN 1573-2959.

- CHOUDHURY, Keya a Louisa J M JANSEN, 1998. Terminology for Integrated Resources Planning and Management. 1998.
- JAAFARI, Shirkou, Yousef SAKIEH, Afshin Alizadeh SHABANI, Afshin DANEHKAR a Ali-akbar NAZARISAMANI, 2016. Landscape change assessment of reservation areas using remote sensing and landscape metrics (case study: Jajroud reservation, Iran). *Environment, Development and Sustainability*. roč. 18, č. 6, s. 1701–1717. ISSN 1573-2975.
- JAEGER, Jochen A G, 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology*. roč. 15, č. 2, s. 115–130. ISSN 1572-9761.
- JAEGER, Jochen A G, 2007. Effects of the configuration of road networks on landscape connectivity. In: D.M. JOCHIMSEN, ed. *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. s. 351–365. ISBN 1559639334.
- JIRALOVÁ, Kateřina, 2014. Vývoj krajiny v pohraničí ČR při hranici s bývalou NDR. B.m. Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze.
- KLÁPŠTĚ, Petr, 2015. Vývoj krajiny v pohraničí České republiky při hranici s bývalou NDR a Polskem. B.m. Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze.
- KRČÍLKOVÁ, Šárka a Petra ŠÍMOVÁ, 2013. Metodika klasifikace leteckých snímků v projektu Analýza vývoje krajiny ČR v podrobném měřítku hodnocení.
- KUPFER, John A, 2012. Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography*. SAGE Publications, 2.4., roč. 36, č. 3, s. 400–420. ISSN 0309-1333.
- LAUSCH, Angela, Thomas BLASCHKE, Dagmar HAASE, Felix HERZOG, Ralf-Uwe Uwe SYRBE, Lutz TISCHENDORF a Ulrich WALZ, 2015. Understanding and quantifying landscape structure - A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*. Elsevier B.V., roč. 295, s. 31–41. ISSN 03043800.
- LI, Harbin a Jianguo WU, 2004. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*. roč. 19, č. 4, s. 389–399. ISSN 1572-9761.
- LIN, Yu-Pin, Pei-Jung WU a Nien-Ming HONG, 2008. The effects of changing the resolution of land-use modeling on simulations of land-use patterns and hydrology for a watershed land-use planning assessment in Wu-Tu, Taiwan. *Landscape and Urban Planning*. roč. 87, č. 1, s. 54–66. ISSN 01692046.
- LIPSKÝ, Zdeněk, 1995. The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning*. roč. 31, č. 1–3, s. 39–45. ISSN 01692046.
- LIPSKÝ, Zdeněk, 1998. *Krajinná ekologie pro studenty geografických oborů*. Karolinum. ISBN 9788071845454.
- LIPSKÝ, Zdeněk, 1999. *Sledování změn v kulturní krajině. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce*. ISBN 8021306432.
- LÖW, Jiří, 1995. *Rukověť projektanta místního územního systému ekologické stability: metodika pro zpracování dokumentace*. 1. vyd. Brno: Doplněk. ISBN 80-85765-55-1.
- LOWELL, Kim, 2008. Fiat boundaries: some implications for interpretation, decision-support, and multi-temporal analysis. *Environmental and Ecological Statistics*. Springer US, roč. 15, č. 4, s. 369–383. ISSN 1352-8505.
- LUSTIG, Audrey, Daniel B. STOUFFER, Mariona ROIGÉ a Susan P. WORNER, 2015. Towards more predictable and consistent landscape metrics across spatial scales. *Ecological Indicators*. roč. 57, s. 11–21. ISSN 1470160X.

- MCGARIGAL, Kevin, 2002. Landscape pattern metrics. Encyclopedia of environmetrics. Wiley Online Library, roč. 21, č. 3, s. 1. ISSN 1001-9332.
- MCGARIGAL, Kevin, 2015. FRAGSTATS HELP v4. 2: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. 2015.
- MCGARIGAL, Kevin, Sam A CUSHMAN, Maile C NEEL a Eduard ENE, 2002. General technical report PNW: FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Portland, Or.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- MCGARIGAL, Kevin a Samuel A. CUSHMAN, 2005. The gradient concept of landscape structure. In: John A. WIENS a Michael R. MOSS, ed. Issues and Perspectives in Landscape Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, s. 112–119.
- MCGARIGAL, Kevin a Barbara J. MARKS, 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. General Technical Report PNW-GTR-351. US roč. 97331, č. 503, s. 134.
- MÕISJA, Kiira, Evelyn UUEMAA a Tõnu OJA, 2016. Integrating small-scale landscape elements into land use/cover: The impact on landscape metrics' values. Ecological Indicators. roč. 67, s. 714–722. ISSN 1470160X.
- NEEL, Maile C, Kevin MCGARIGAL a Samuel A CUSHMAN, 2004. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. Landscape Ecology. roč. 19, č. 4, s. 435–455. ISSN 1572-9761.
- PECHOVÁ, Petra, 2014. Vývoj zemědělské krajiny v severozápadních Čechách. B.m. Fakulta životního prostředí ČZU v Praze.
- PENG, J., Y. WANG, M. YE, J. WU a Y. ZHANG, 2007. Effects of land-use categorization on landscape metrics: A case study in urban landscape of Shenzhen, China. International Journal of Remote Sensing. Taylor & Francis, 1.11., roč. 28, č. 21, s. 4877–4895. ISSN 0143-1161.
- PENG, Jian, Yanglin WANG, Yuan ZHANG, Jiansheng WU, Weifeng LI a You LI, 2010. Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. Ecological Indicators. 3., roč. 10, č. 2, s. 217–223. ISSN 1470160X.
- SHAO, Guofan a Jianguo WU, 2008. On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. Landscape Ecology. roč. 23, č. 5, s. 505–511. ISSN 1572-9761.
- SINHA, Priyakant, Lalit KUMAR a Nick REID, 2016. Rank-Based Methods for Selection of Landscape Metrics for Land Cover Pattern Change Detection. 2016. ISBN 2072-4292.
- SKLENIČKA, Petr, 2003. Základy krajinného plánování. Praha: Naděžda Skleničková. ISBN 9788090320611; 8090320619.
- SVOBODOVÁ, Kateřina, 2014. Vývoj zemědělské krajiny ve východních Čechách a na jižní Moravě. Praha. Fakulta životního prostředí, ČZU v Praze.
- SYRBE, Ralf-Uwe a Ulrich WALZ, 2012. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. Ecological Indicators. roč. 21, s. 80–88. ISSN 1470160X.
- ŠÍMOVÁ, Petra a Kateřina GDULOVÁ, 2012. Landscape indices behavior: A review of scale effects. Applied Geography. 5., roč. 34, č. 3, s. 385–394. ISSN 01436228.

- UUEMAA, Evelin, Marc ANTROP, Jüri ROOSAARE, Riho MARJA, Jüri ROOSAARE, Riho MARJA a Ülo MANDER, 2009. Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research Living Reviews in Landscape Research. Living Reviews in Landscape Research. Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), 1., roč. 3, s. 1–28. ISSN 1863-7329.
- UUEMAA, Evelyn, Ülo MANDER a Riho MARJA, 2013. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecological Indicators*. Elsevier Ltd, roč. 28, č. May, s. 100–106. ISSN 1470160X.
- VELDKAMP, A a E.F LAMBIN, 2001. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 6., roč. 85, č. 1–3, s. 1–6. ISSN 01678809.
- WU, Jianguo a Richards HOBBS, 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology: An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*. Springer, roč. 17, č. 4, s. 355–365. ISSN 1572-9761.
- YANG, Xin, Yu ZHAO, Rui CHEN a Xinqi ZHENG, 2016. Simulating land use change by integrating landscape metrics into ANN-CA in a new way. *Frontiers of Earth Science*. roč. 10, č. 2, s. 245–252. ISSN 2095-0209.

# PŘÍLOHY

## Seznam příloh:

*Příloha č. 1:* Srovnání klasifikace LC1 a LC2

*Příloha č. 2:* Srovnání vektorové a rastrové reprezentace pro klasifikaci LC1

*Příloha č. 3:* Srovnání vektorové a rastrové reprezentace pro klasifikaci LC2

*Příloha č. 4:* Celková rozloha tříd land cover na úrovních LC1 a LC2

*Příloha č. 5:* Celkový počet prvků tříd land cover na úrovních LC1 a LC2

*Příloha č. 6:* Grafy hodnot NP v modelovaných etapách pro LC1 a LC2

*Příloha č. 7:* Grafy hodnot ED v modelovaných etapách pro LC1 a LC2

*Příloha č. 8:* Grafy hodnot DIVISION v modelovaných etapách pro LC1 a LC2

*Příloha č. 9:* Grafy hodnot LPI v modelovaných etapách pro LC1 a LC2

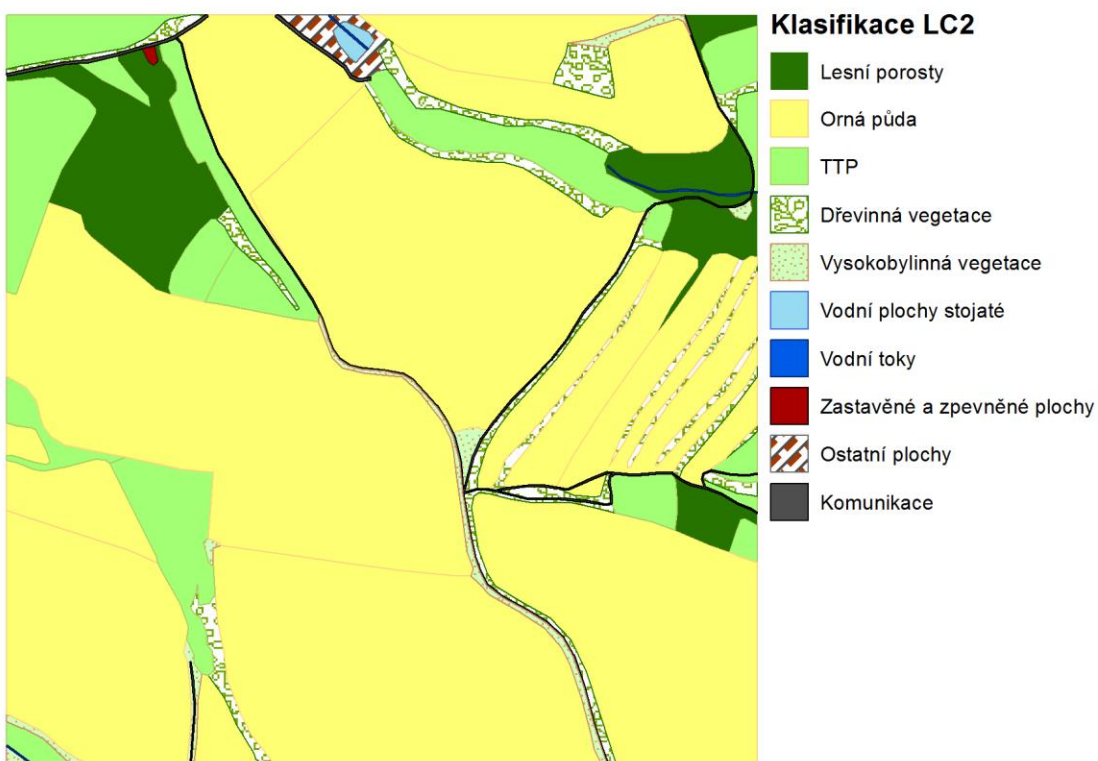
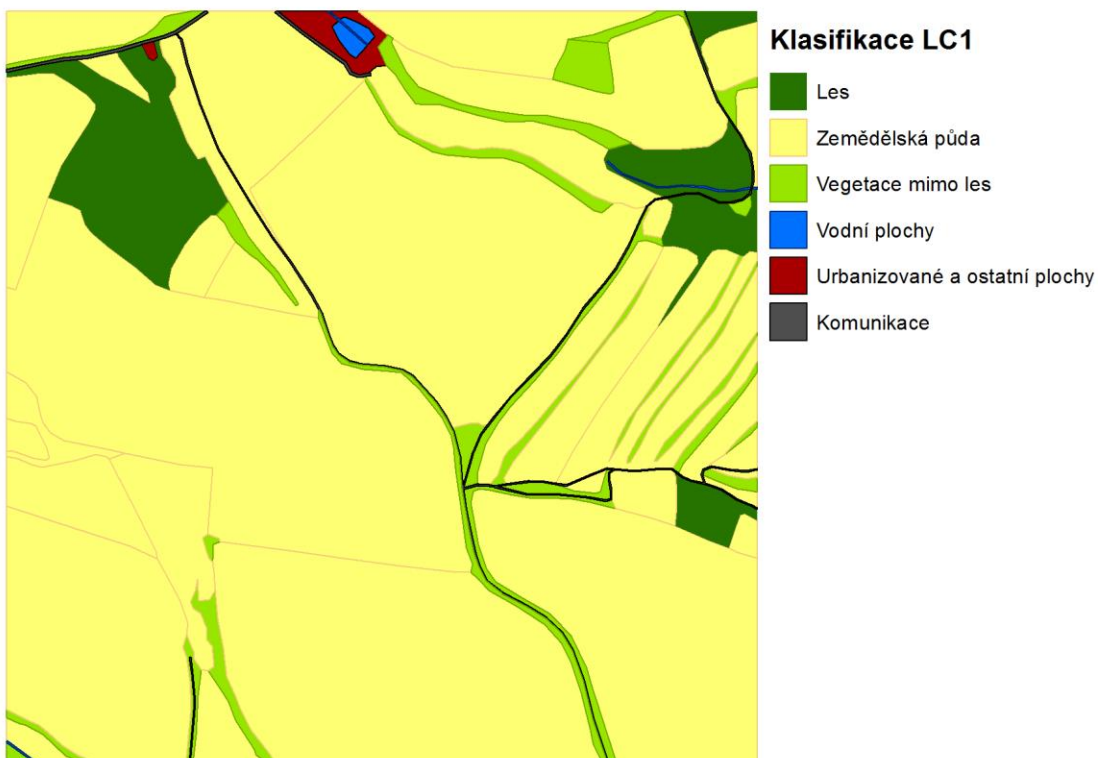
*Příloha č. 10:* Grafy hodnot SHEI v modelovaných etapách pro LC1 a LC2

*Příloha č. 11:* Grafy hodnot SHEI v modelovaných etapách pro LC1 a LC2

*Příloha č. 12:* Grafy hodnot ED v modelovaných etapách dle kategorií LC1

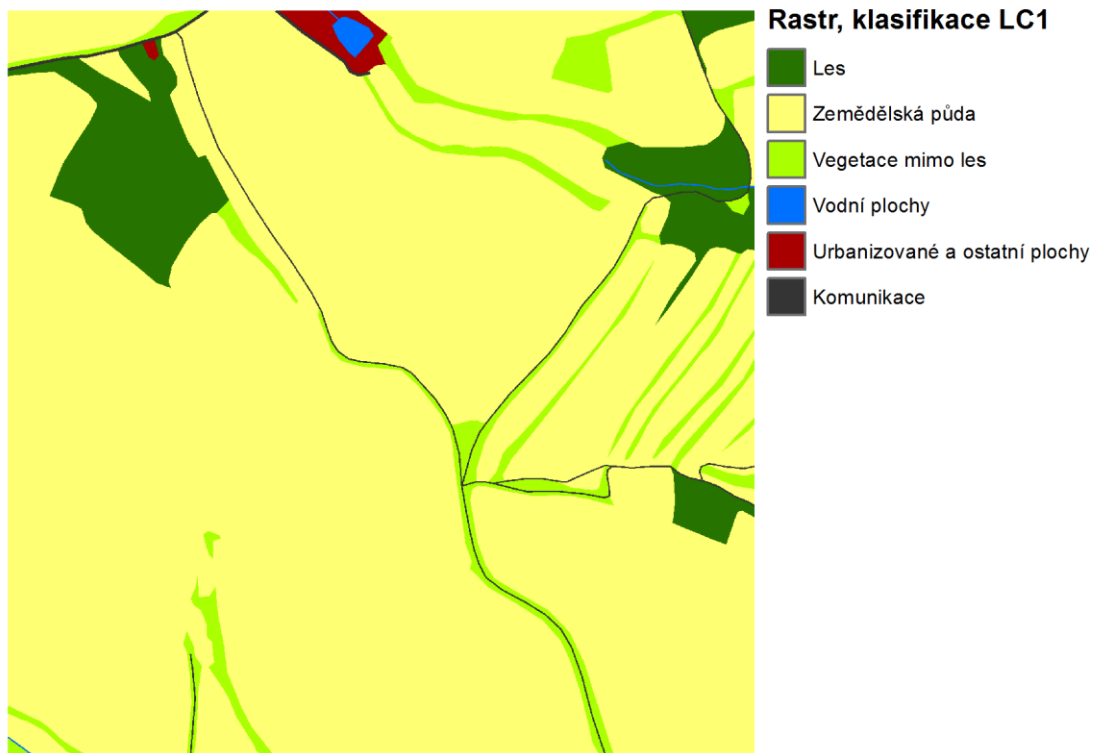
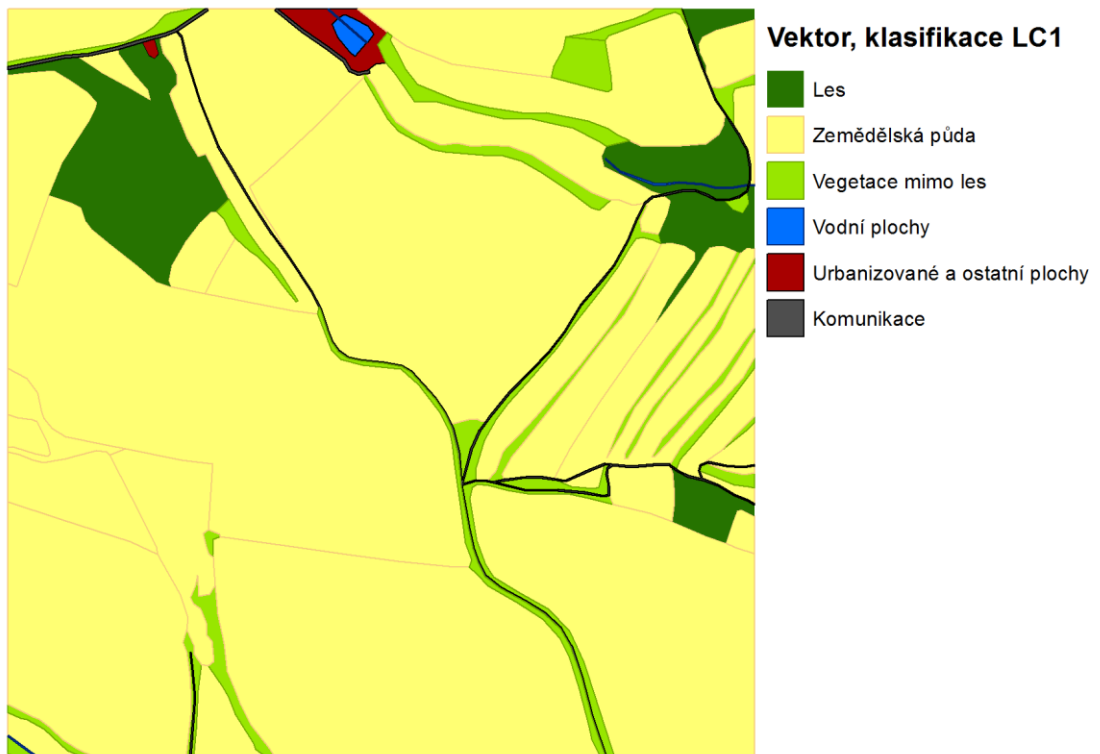


*Příloha č. 1: Srovnání klasifikace LC1 a LC2*



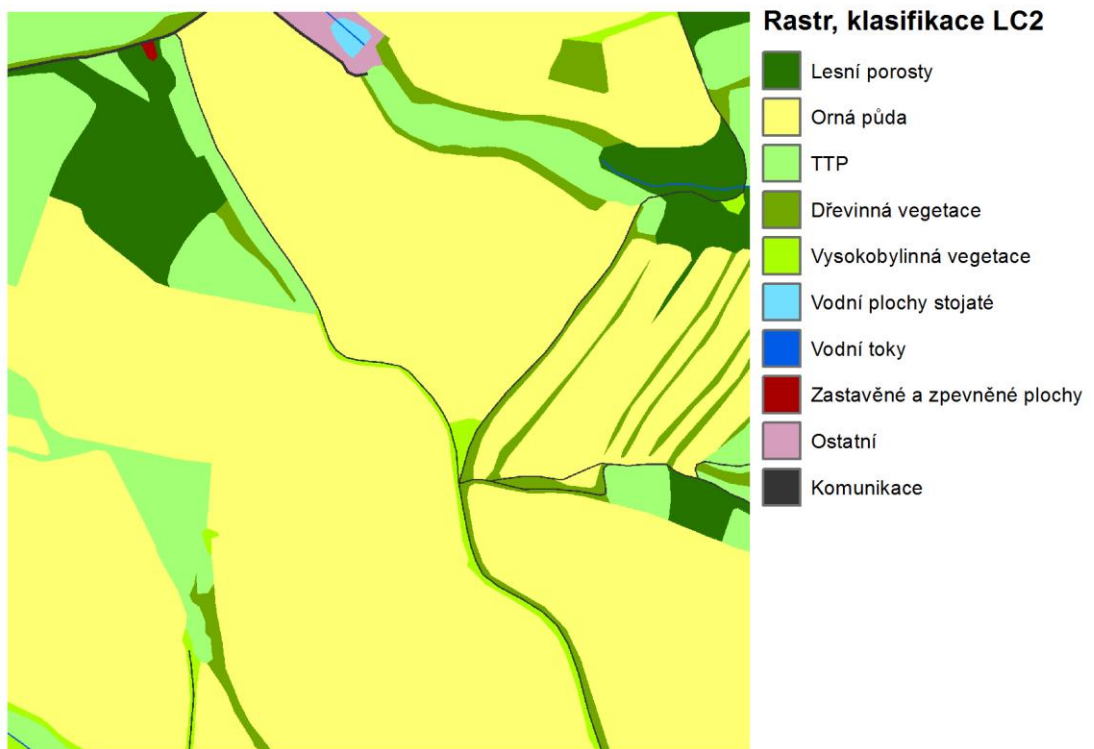
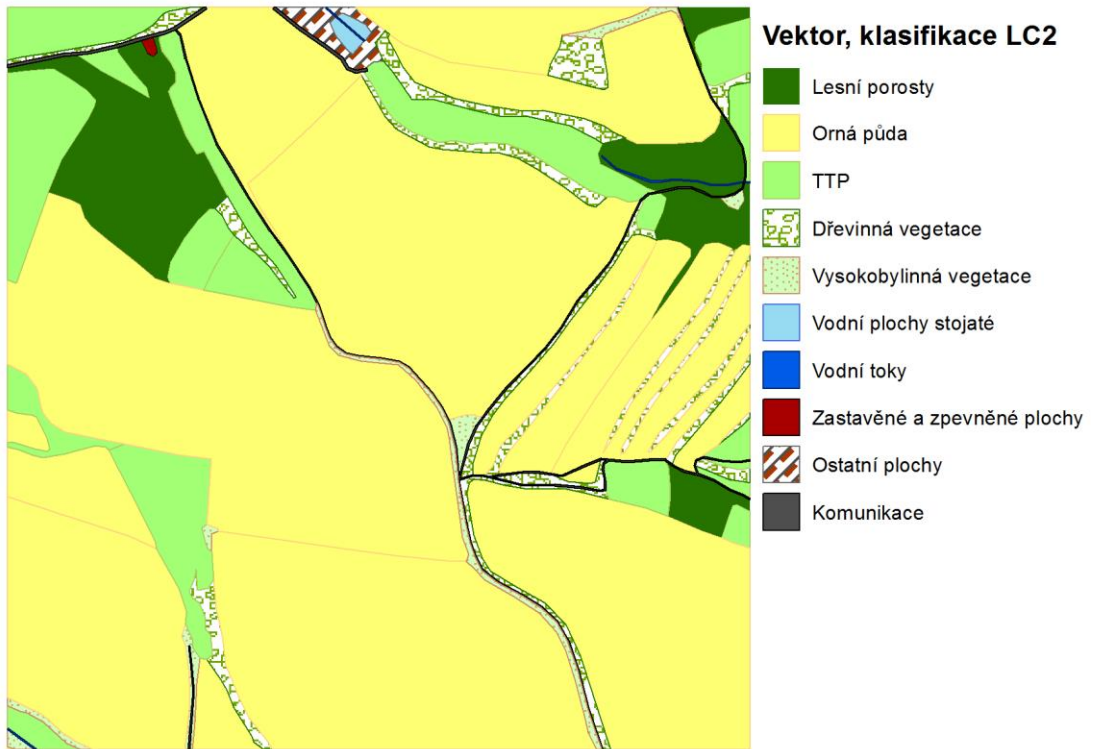
0 200 400 m

*Příloha č. 2: Srovnání vektorové a rastrové reprezentace pro klasifikaci LC1*



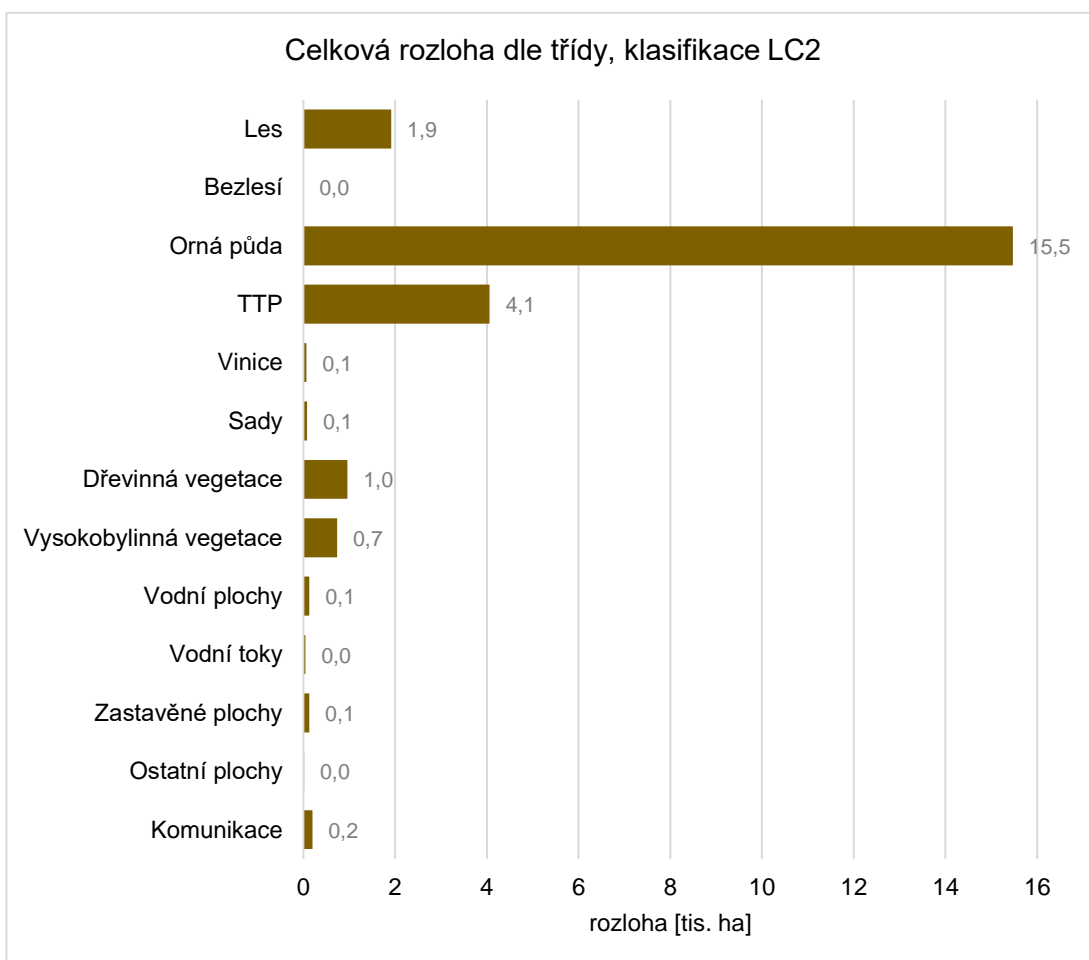
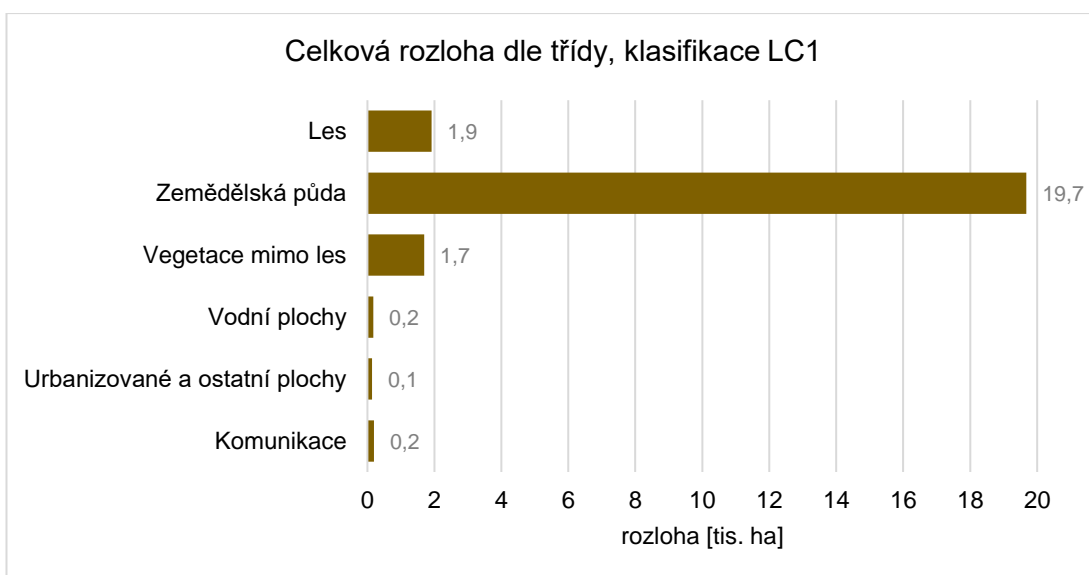
0 200 400 m

**Příloha č. 3: Srovnání vektorové a rastrové reprezentace pro klasifikaci LC2**

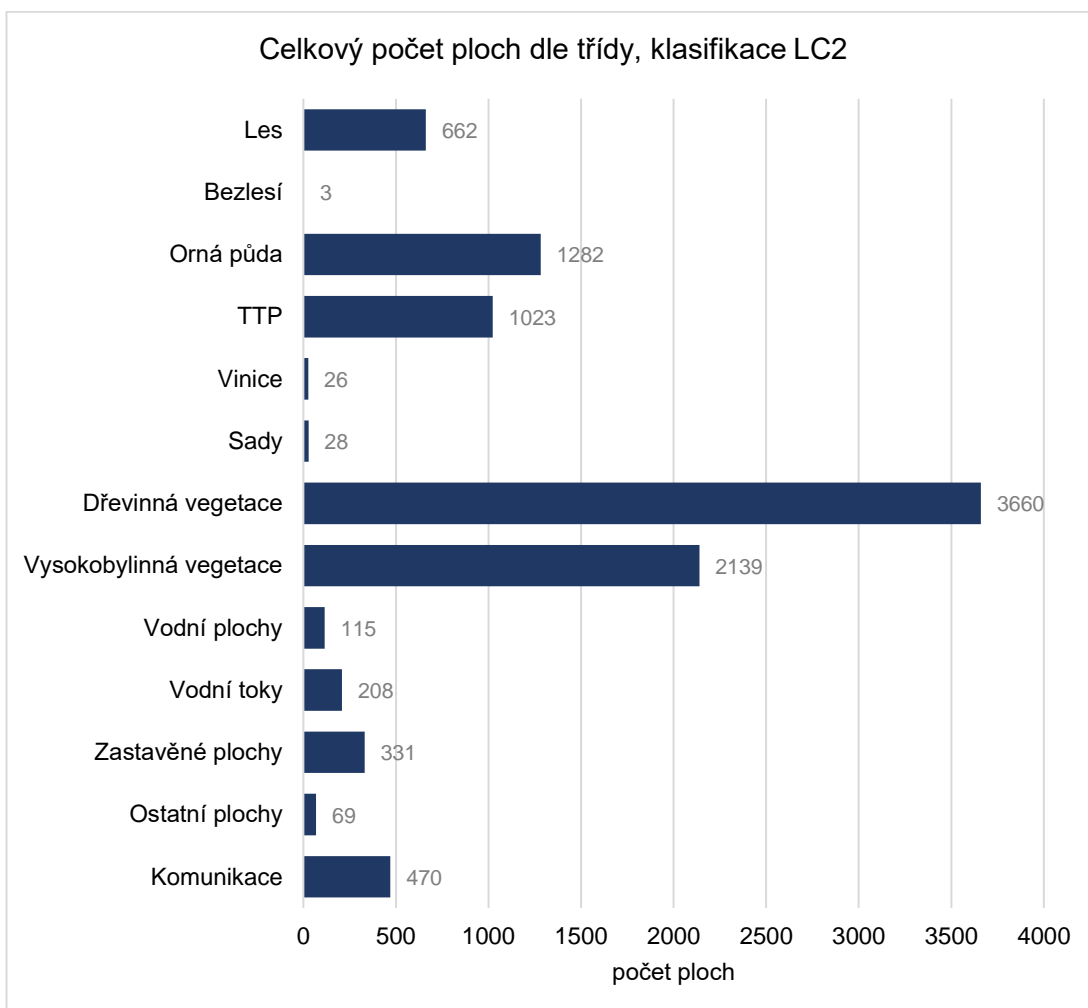
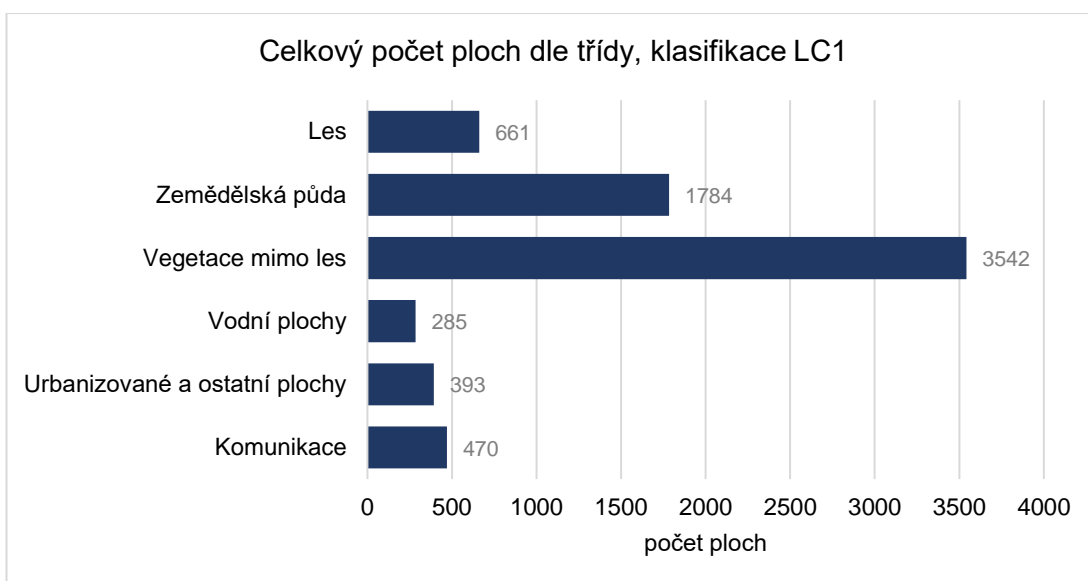


0 200 400 m

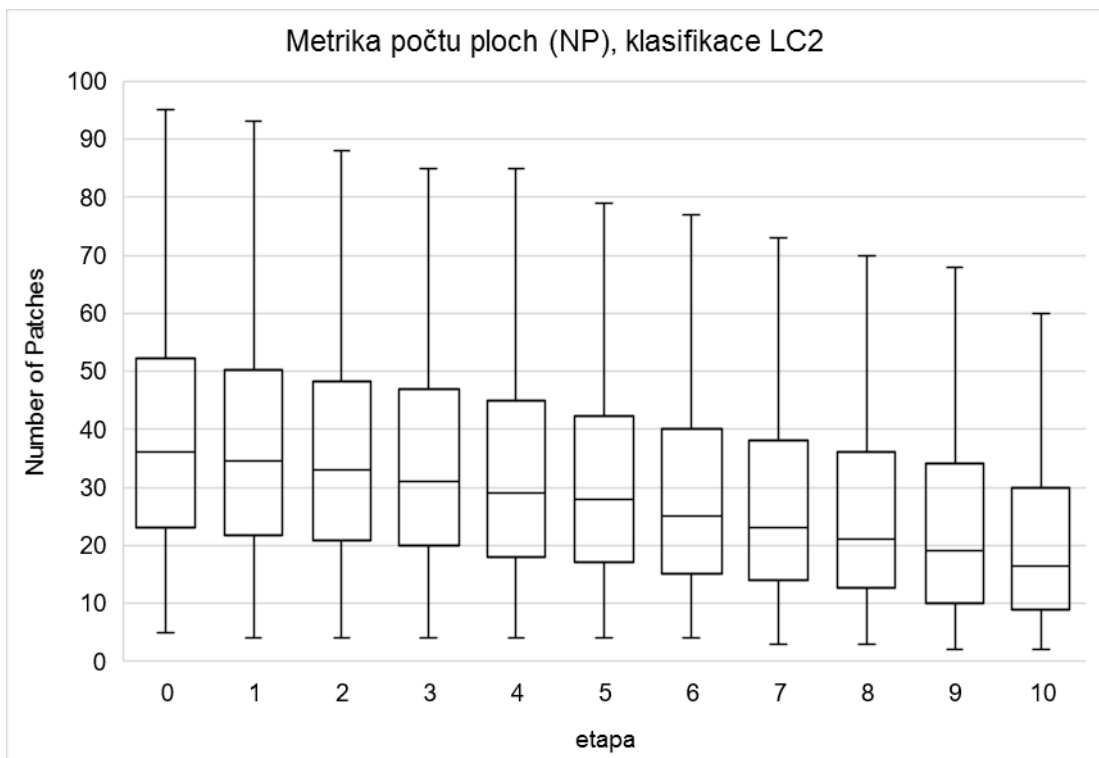
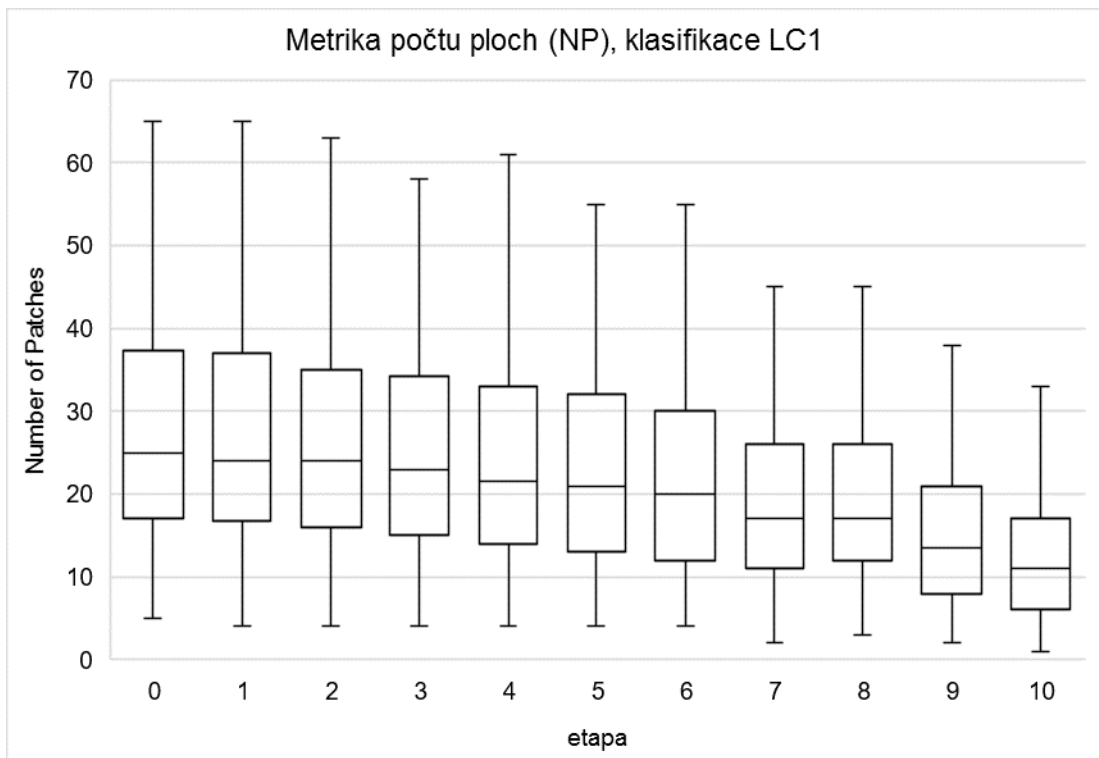
**Příloha č. 4: Celková rozloha tříd land cover na úrovních LC1 a LC2**



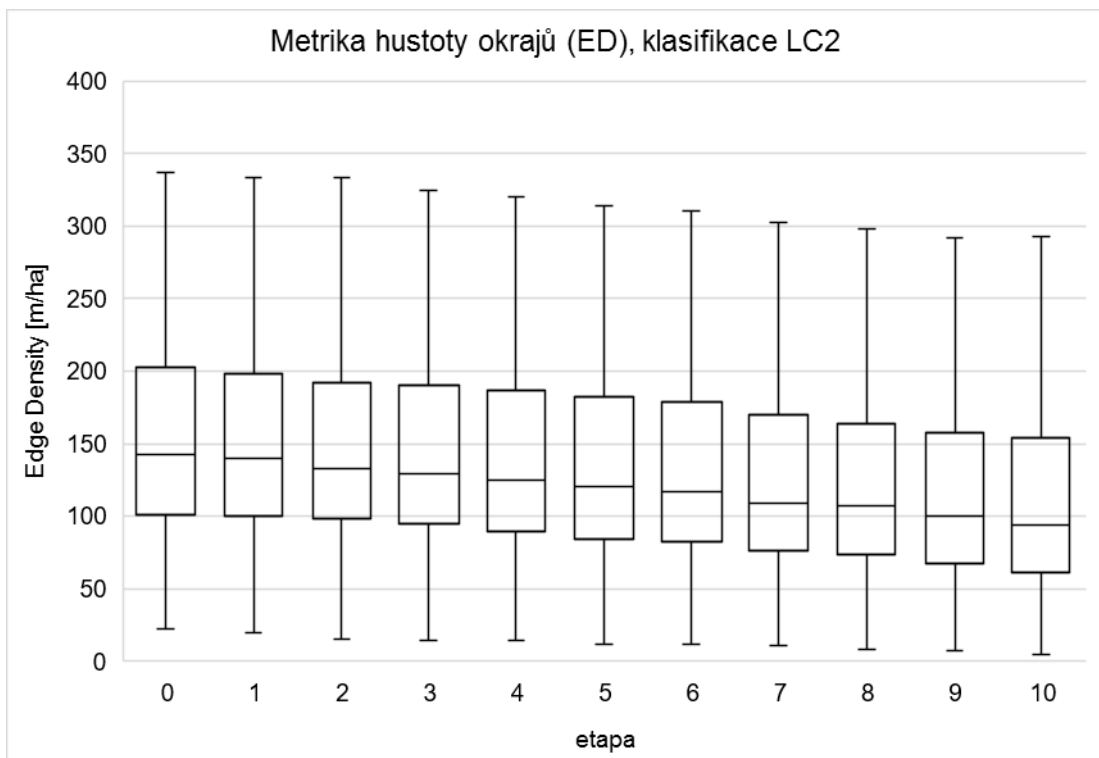
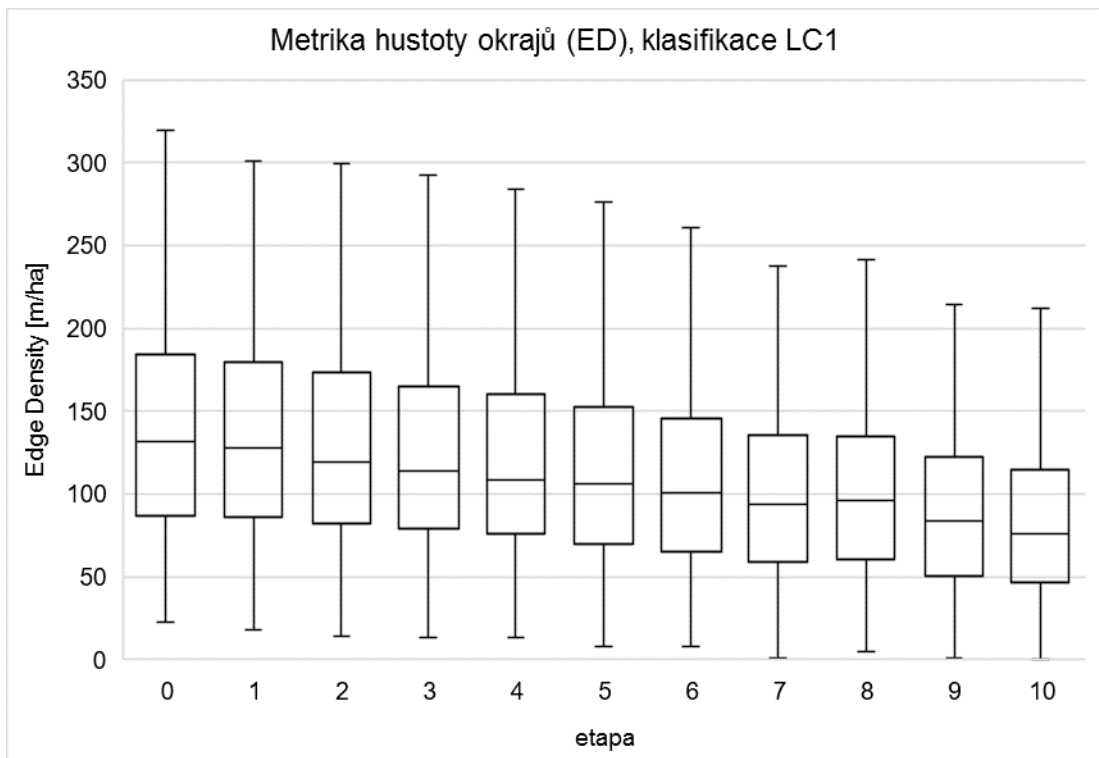
*Příloha č. 5: Celkový počet prvků tříd land cover na úrovních LC1 a LC2*



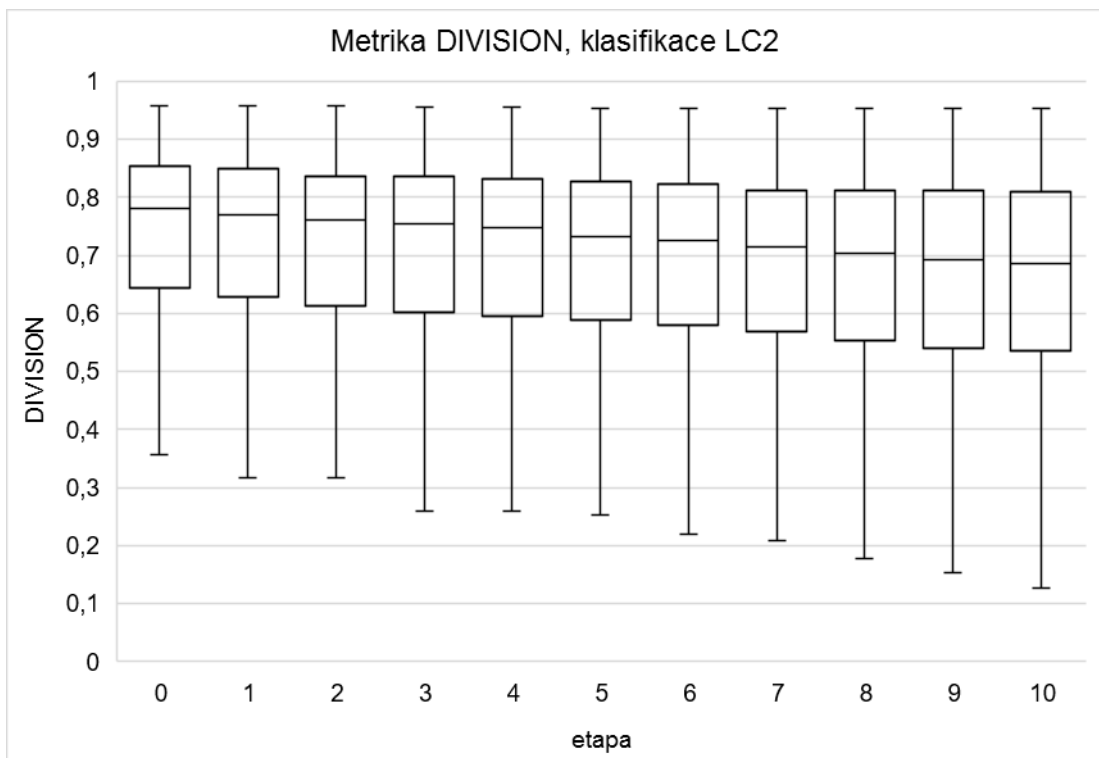
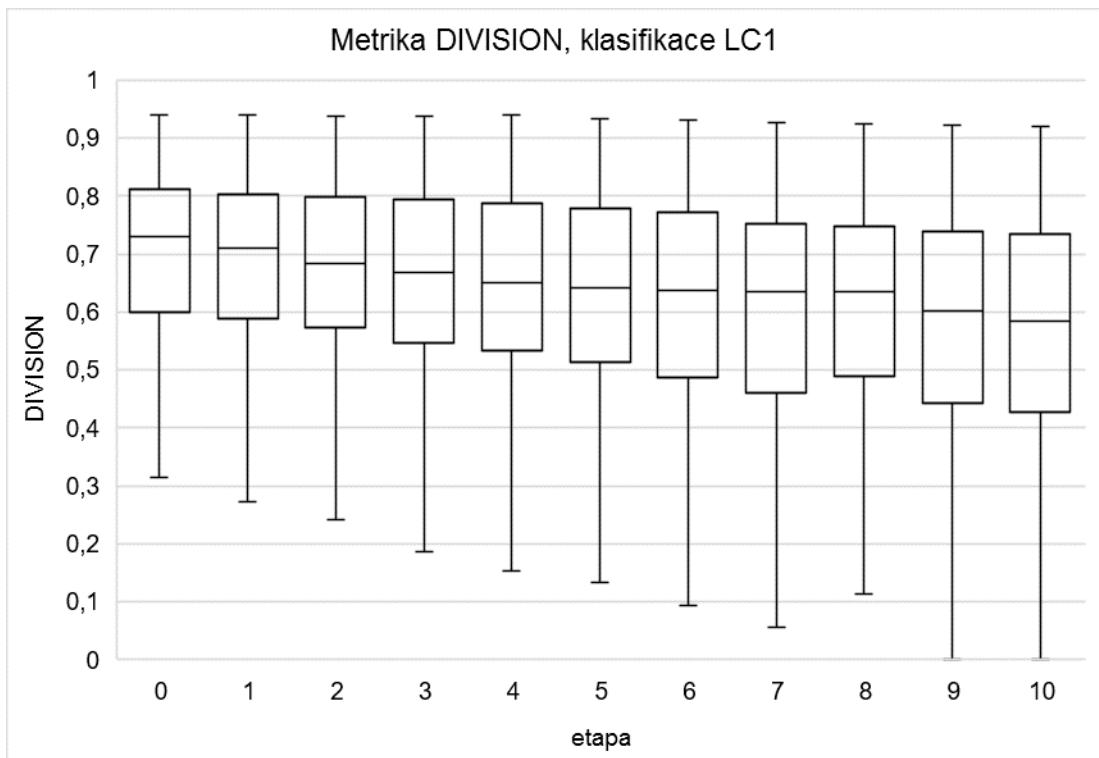
*Příloha č. 6: Grafy hodnot NP v modelovaných etapách pro LC1 a LC2*



*Příloha č. 7: Grafy hodnot ED v modelovaných etapách pro LC1 a LC2*

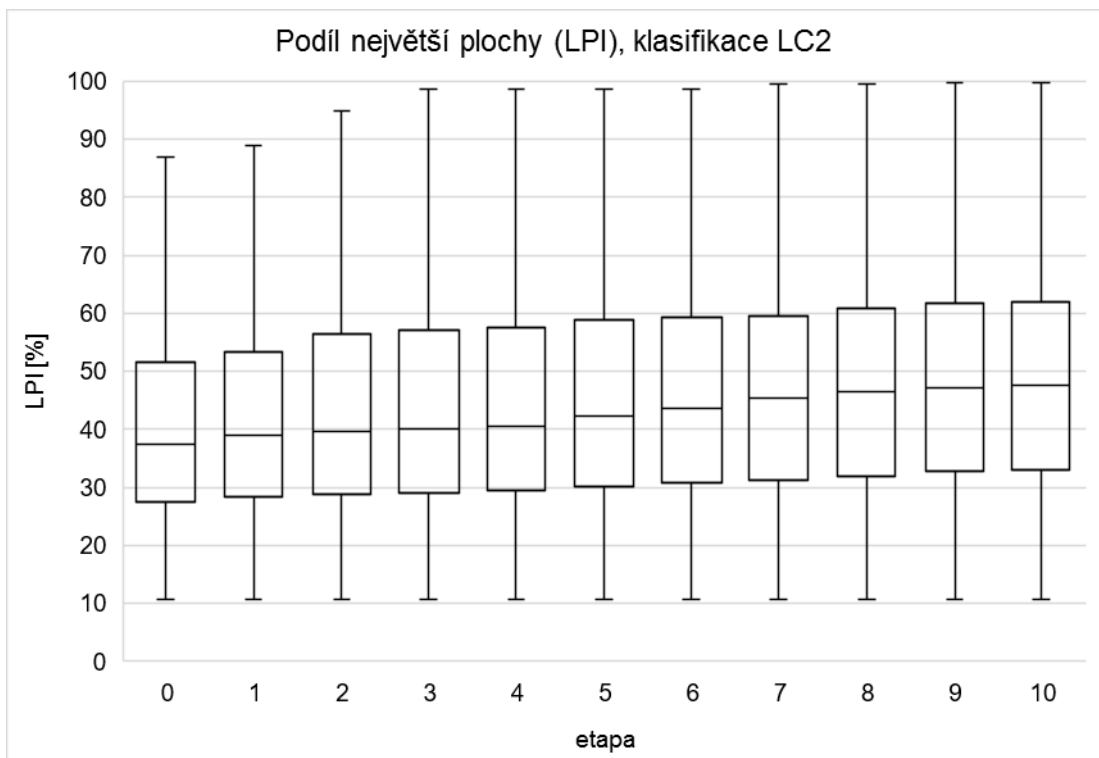
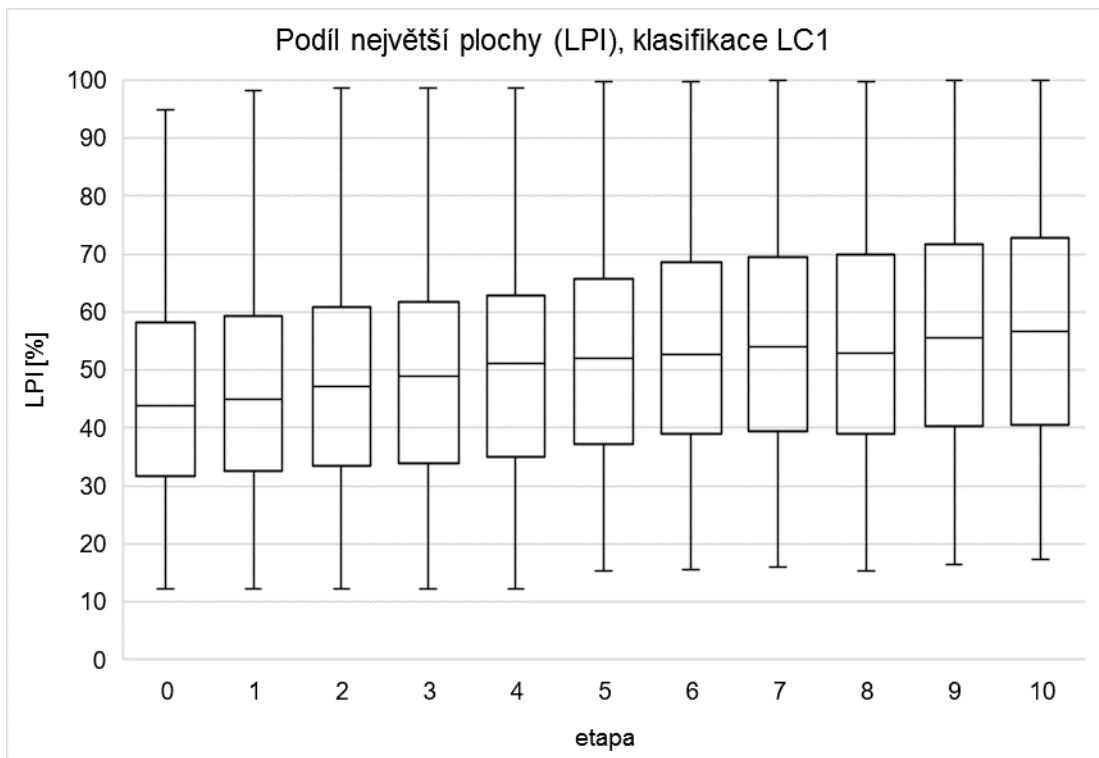


*Příloha č. 8: Grafy hodnot DIVISION v modelovaných etapách pro LC1 a LC2*

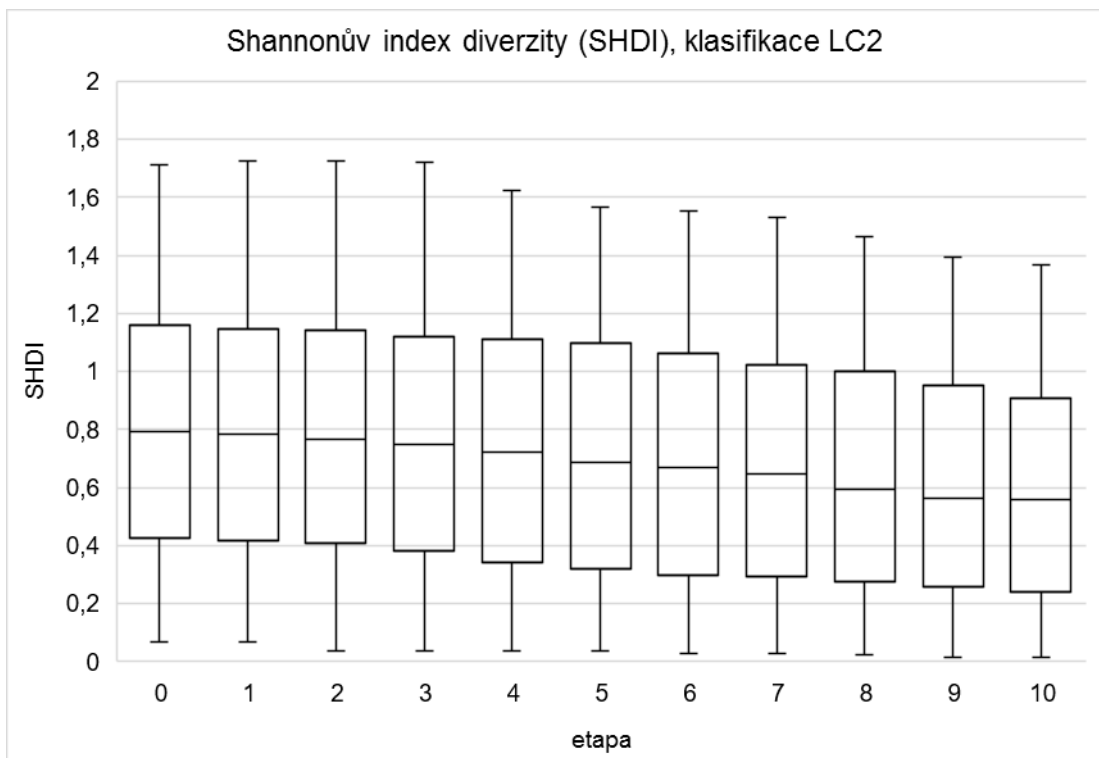
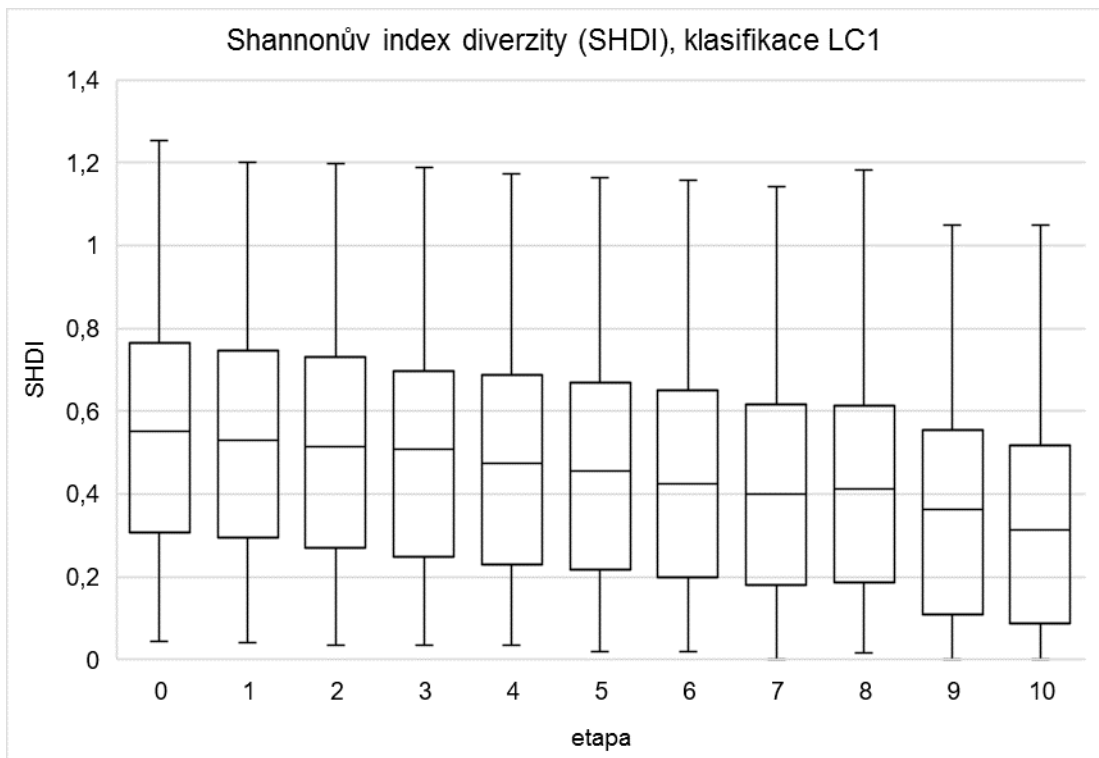




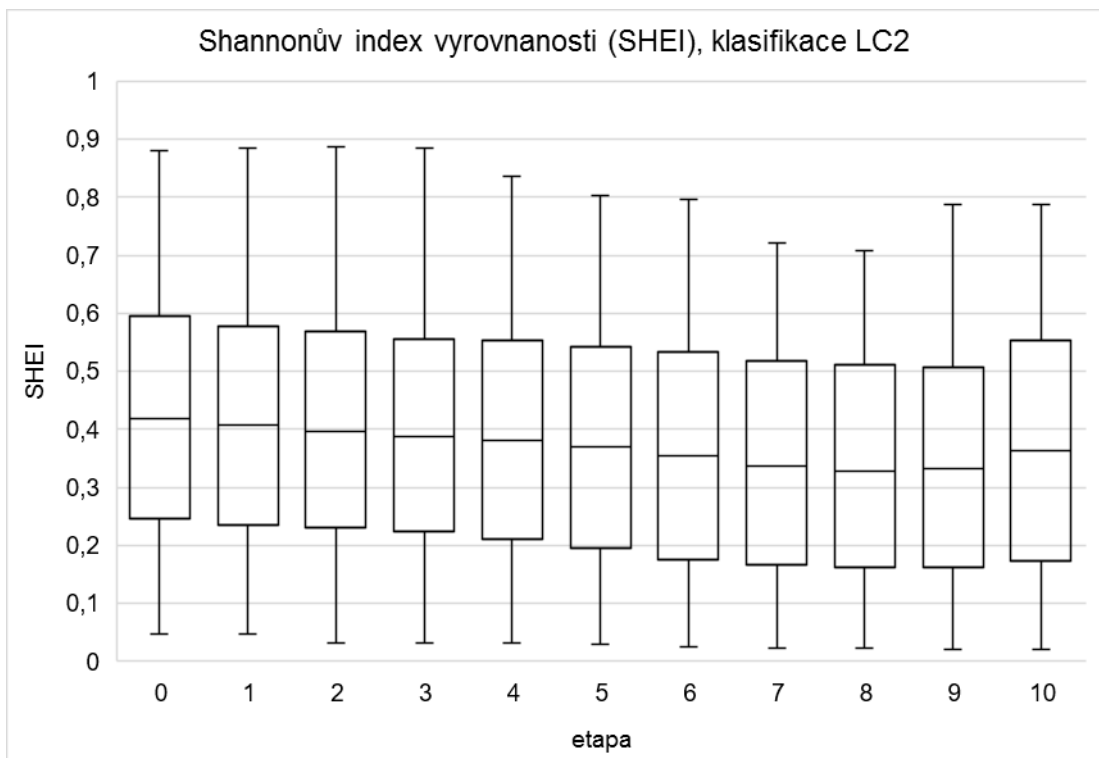
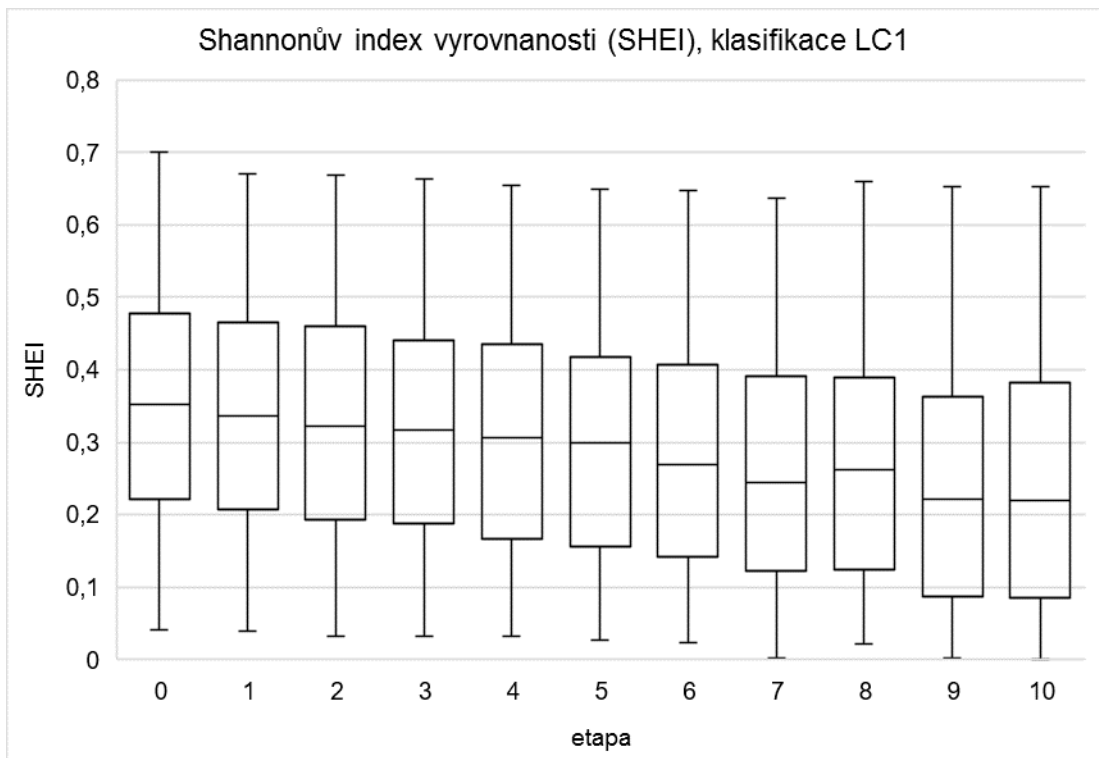
*Příloha č. 9: Grafy hodnot LPI v modelovaných etapách pro LC1 a LC2*



*Příloha č. 10: Grafy hodnot SHDI v modelovaných etapách pro LC1 a LC2*



*Příloha č. 11: Grafy hodnot SHEI v modelovaných etapách pro LC1 a LC2*



Příloha č. 12: Grafy hodnot ED v modelovaných etapách dle kategorií LC1

