

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta



Lucie Kupková

**Vybrané geoinformační přístupy
pro hodnocení využití krajiny, krajinného pokryvu
a fyziologického stavu vegetace**

Habilitační práce

Praha 2019

Obsah

1. Úvod	5
2. Teoreticko-metodologické přístupy, východiska a předmět výzkumu	11
2.1 Rámcové teoreticko-metodologické přístupy, východiska výzkumu	11
2.2 Hodnocení změn využití krajiny a jejích hybných sil - předmět výzkumu a teoreticko-metodologické přístupy	18
2.3 Monitoring stavu a změn horských ekosystémů z obrazových dat DPZ - předmět výzkumu a teoreticko-metodologické přístupy	28
2.4 Hodnocení stavu vegetace s využitím spektroskopických dat a laboratorních analýz - předmět výzkumu a teoreticko-metodologické přístupy	36
3. Vlastní výzkum: struktura, výstupy, výsledky	41
3.1 Hodnocení změn využití krajiny a jejích hybných sil s využitím prostorových databází land use / land cover	50
3.2 Monitoring stavu a změn horských ekosystémů s využitím multispektrálních a hyperspektrálních obrazových dat DPZ	66
3.3 Hodnocení stavu vegetace s využitím spektroskopických dat a laboratorních analýz	73
4. Literatura, zdroje	79
5. Soubor studií	103

1. Úvod

Krajina jako součást životního prostředí je nezbytná pro člověka, pro existenci a fungování lidské společnosti. Míra ovlivnění a poškození krajiny společností narůstá a v posledních desetiletích atakuje v mnoha případech hranice globální udržitelnosti (Antrop 2005; Lambin, Meyfroidt 2011; IPCC 2015 a další). S prohlubujícími se environmentálními problémy začal zejména ve druhé polovině 20. století sílit zájem společnosti o problematiku ochrany životního prostředí a krajiny a snahy problémy nejen řešit ex-post, ale také jim přecházet. Mezi významné milníky tohoto úsilí patří například založení Římského klubu (1968)¹, dále Mezivládního panelu pro změny klimatu IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 1988)², a zejména pak summit „Země“ v Rio de Janeiru (1992), jehož výsledkem je celá řada politických a strategických opatření uplatňovaných v různých měřítkových úrovních řízení společnosti (globální – makroregionální – státní – lokální). Například tzv. Agenda 21, nebo Úmluva o biologické rozmanitosti či Rámcová úmluva o změně klimatu, na níž navazují Kjótský protokol, Pařížská dohoda, rozsáhlá činnost IPCC a mnoho dalších iniciativ a dohod³, které jsou dnes platné a více či méně aktivně přispívají k ochraně životního prostředí a krajiny.

Sledování, potvrzení a analýza krajinných změn a jejich interpretace vedoucí k pochopení jejich příčin a mechanismů je předmětem zájmu vědců z mnoha vědních oborů a disciplín. Změny krajiny jsou velmi rozmanité, probíhají v různých měřítkových úrovních s rozdílnou dynamikou, a to nejen v důsledku přírodních podmínek, ale především pod vlivem působení rozličných hybných sil a vlivů společnosti. Existuje nepřehledné množství dat různé kvality a vypovídací schopnosti, která stav a změny krajiny popisují. Některá jsou vhodná pro hodnocení jevů kvantitativní povahy – intenzity, dynamiky změn, jiná pro porozumění kvalitě změn, různá data využijeme v rozdílných geografických měřítcích nebo v odlišných časových obdobích. Šíři informací a datových vstupů odpovídá pak šíře metodických přístupů a možností jejich analýzy. Ne všechna data vypovídají o tomtéž a mohou být zaměnitelná, ne všechny metody analýzy vedou ke srovnatelným a kvalitním výsledkům.

Odborníci, kteří se zabývají analýzou krajiny a jejich změn, musí tudíž řešit problémy související s výběrem a dostupností vhodných datových zdrojů (jejich typem, vlastnostmi, kvalitou, vypovídací schopností, časovým záběrem apod.), a také otázky způsobu zpracování dat (výběr vhodné metody analýzy dat, určení míry její přesnosti, možnosti jejího zdokonalení atd.) včetně objektivní interpretace výsledků. Studium krajiny se tradičně zabývají zejména geografové (disciplíny fyzické a sociální geografie), geologové, geoekologové, ekologové,

1 <http://www.clubofrome.org/>

2 Byl založen k vyhodnocování rizik změny klimatu dvěma organizacemi OSN – Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Programem OSN pro životní prostředí (UNEP) – <https://www.ipcc.ch/about/>.

3 Viz např. https://www.mzp.cz/cz/mezinarodni_smlouvy

environmentalisté nebo dílčí přírodovědné disciplíny jako botanika, pedologie, experimentální biologie a mnoho dalších.

V posledním již více než půlstoletí, a zejména pak v období posledních tří desetiletí se při studiu krajiny čím dál více uplatňuje geoinformatika (geomatika⁴), která se postupně stala interdisciplinárním oborem, jehož data, technologie i vědecké pokroky dnes pronikly do přístupů mnoha klasických věd o Zemi. Tato disciplína obohatila tradiční metody studia krajiny o zcela nové a zásadním způsobem přínosné typy dat ve smyslu kvantitativním i kvalitativním, o nové pojetí prostoru v digitální podobě, nové datové reprezentace i nové metody analýzy prostoru revoluční ve smyslu stupně automatizace, komplexnosti, provázanosti, typů analytických i predikčních nástrojů, které umožňují rychlé zpracování dříve nevídaných objemů dat, hodnocení vývoje v minulosti i predikci budoucnosti, sledování dějů a procesů v reálném čase v různých prostorových úrovních prakticky na jakémkoliv místě na světě.

Vybranou část datových vstupů a metodických přístupů geoinformatiky s důrazem na přístupy dálkového průzkumu Země (DPZ) využívám v rámci zapojení do několika výzkumných týmů ve svém výzkumu, který prezentuji v této práci. Objektem mého studia v posledních cca dvaceti letech je krajina a předmětem výzkumu stav a změny krajiny. Konkrétně analýza využití krajiny, krajinného pokryvu a fyziologického stavu vegetace v různých územích v rámci Česka a střední Evropy a v různých časových horizontech či obdobích od poloviny 19. století do současnosti.

Předkládaná práce se snaží přispět k diskuzi o možnostech a přínosu výzkumu změn krajiny, a to jak v rovině teoretického zobecnění (zákonitá povaha změn, uplatnění hybných sil změn, rozdíly změn v různých typech území a v různých řádovostně-měřítkových úrovních, v různých obdobích apod.), tak v rovině praktických přínosů (aplikace výsledků výzkumu při monitoringu a ochraně cenných a poškozených území, managementu a plánování rozvoje území), a zejména potom v rovině metodologické a empirické (vhodnost využití jednotlivých typů dat pro řešení různých úloh, způsoby sběru, kategorizace a měření dat, možnosti dat pro získání kvalitativní informace, přínos a způsob analýzy primárních⁵ a sekundárních zdrojů dat, nedostatky a omezení datových zdrojů, srovnání různých metod analýzy, konkrétní přínosy geoinformatiky, zejména DPZ pro hodnocení stavu a změn krajiny atd.).

Práce je členěna do dvou částí. První část tvoří „obecný vstup“ a zahrnuje jednak rozbor teoreticko-metodologických přístupů a východiska výzkumu (kapitola 2.1). V této části je také ve třech kapitolách (2.2–2.4) přiblížen předmět výzkumu a blíže jsou konkretizovány metodické přístupy ve třech navazujících tematických oblastech od obecnějšího širšího záběru k úžeji vymezeným objektům výzkumu, od využití sekundárních dat k primárním datům, od jednodušších metod ke složitějším metodám v návaznosti na genezi mého výzkumného zaměření.

4 Pojem geomatica (později geoinformatika) byl poprvé použit Francouzem Denegrem okolo roku 1965 (Šíma 2011). Dle ISO/TR 19122 (Geografická informace/Geomatika – kvalifikace a certifikace personálu) je geomatika „vědním oborem zabývajícím se sběrem, distribucí, ukládáním, analýzou, zpracováním a prezentací geografických dat nebo geografických informací“ (<https://www.evs.ee/preview/iso-tr-19122-2004-en.pdf>).

5 Primární data = data získaná v rámci vlastního výzkumu analýzou elementární empirické informace.

Těmito třemi oblastmi jsou (1) výzkum dlouhodobých změn využití krajiny na základě sekundárních⁶ prostorových databází, (2) aplikace geoinformatiky (konkrétně dálkového průzkumu Země) ve výzkumu stavu a změn krajinného pokryvu horských ekosystémů a (3) hodnocení fyziologického stavu vegetace s využitím spektroskopických metod. Přístupy aplikované v jednotlivých částech jsou zároveň přehledově zasazeny do kontextu literatury, odpovídajících výzkumných směrů a škol v příslušných tematických oblastech, k nimž má můj výzkum v rámci zapojení do mezioborových výzkumných týmů nejbližší⁷.

Druhá část práce navazuje svým členěním na tři výše specifikované oblasti výzkumu a v příslušných tematických kapitolách (3.2–3.4) představuje soubor celkem 13 vybraných studií, které obecná východiska přibližují prostřednictvím konkrétních příkladů mého vlastního výzkumu. Zatímco v první části mého výzkumu (3.2) byla pro studium využití půdy a krajinného pokryvu využita data a techniky spíše tradiční povahy, druhá část (3.3) je postavena na moderních datech a metodách DPZ a třetí (3.4) na nejnovějších přístupech dílčího podoboru DPZ, kterým je spektroskopie. Práce prezentuje vývoj a proměny mého vědeckého zaměření v posledních více než dvou dekadách. Nejstarší výzkumy mají kořeny v první polovině 90. let 20. století a vychází z aktivit týmu Land Use Land Cover Change Czechia na PřF UK⁸ v Praze pod vedením I. Bičíka z katedry sociální geografie a regionálního rozvoje PřF UK, nejnovější výzkumy jsou výsledkem interdisciplinárního výzkumu týmu laboratorní a obrazové spektroskopie PřF UK⁹ pod vedením mým a za část experimentální a ekologické biologie rostlin pod vedením J. Albrechtové, vedoucí Laboratoře ekofyziologie rostlin na katedře experimentální biologie rostlin PřF UK.

Zařazené publikace jsou výstupem více než dvou desítek projektů a byly publikovány převážně v časopisech s impakt faktorem, resp. evidovaných ve světově uznávaných databázích WoS nebo Scopus. Mnohé z publikací jsou výstupem rozsáhlejších interdisciplinárně laděných výzkumných projektů, podpořených domácími i zahraničními grantovými institucemi. Prezentují jak mezinárodní spolupráci v rámci sítí odborníků a mezinárodních organizací a výzkumných programů, tak spolupráci v prostředí české vědy, pracovišť domovské Přírodovědecké fakulty UK, včetně zapojení studentů doktorských programů.

Všem kolegyním a kolegům, rodině i dalším blízkým, kteří mě v mém výzkumném úsilí provázeli, vedli a podporovali, patří můj velký dík, stejně jako institucím a organizacím, které náš výzkum podpořily prostřednictvím dotací do výzkumných projektů.

6 V této části práce využívám z převážné většiny (ale nikoliv bezvýhradně) převzatá/sekundární prostorová data o využití krajiny, která byla vytvořena / poskytnuta / primárně zpracována jinými týmy/ organizacemi.

7 Ovšem bez nároku na vyčerpávající přehled, pro nějž není v této práci prostor.

8 <http://web.natur.cuni.cz/ksgrsek/lucc/>

9 <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/veda-a-vyzkum/vyzkumne-tymy/vyzkumny-tym-laboratorni-a-obrazove-spektroskopie>

Habilitační práce směřovala k řešení následujících výzkumných cílů, výzev a otázek:

1. V obecné úrovni bylo cílem hledání vhodných typů geoinformačních dat, metod a technologií pro poznávání různé úrovně složitosti analyzovaného systému v hierarchii od širšího k úzeji vymezenému předmětu zájmu:

Krajina a její využití → horské ekosystémy a jejich monitoring → vegetace a hodnocení jejího stavu

Zvláštní zřetel byl přitom kladen na přístupy dálkového průzkumu Země, zejména na moderní trendy – laboratorní a obrazovou spektroskopii.

VÝZKUMNÉ OTÁZKY: *Jak mohou přispět geoinformační přístupy (data a metody) při hodnocení složek krajiny v různých řádovostně-měřítkových úrovních v různých časových horizontech/obdobích? Jaké jsou jejich přednosti a nedostatky?*

2. V případě hodnocení dynamiky využití krajiny byly konfrontovány tradiční výzkumné metody vycházející z jednoduchého bilančního hodnocení dat katastrální evidence s novými metodami postavenými na sofistikovanějších geoinformačních přístupech, pracujících se souhrnnými ukazateli trendů změn anebo vycházejících z prostorových databází generovaných z dat DPZ. Pozornost byla věnována zásadním aktuálním metodickým otázkám – srovnatelnosti klasifikačních nomenklatur a porovnávání a analýze přesnosti sekundárních prostorových databází land use / land cover odvozených z primárních dat DPZ. Z věcného hlediska byl zájem upřen na určení trendů změn využití krajiny a jejich hybných sil v dlouhodobém horizontu od poloviny 19. století a na nové trendy změn krajiny, které byly typické pro transformační období od roku 1990.

VÝZKUMNÉ OTÁZKY: *Které geoinformační přístupy mohou obohatit tradiční výzkumy využití krajiny postavené na sekundárních prostorových databázích katastrální evidence? Jaké byly změny (typy změn, jejich prostorové rozmístění, intenzita) a hlavní trendy využití krajiny v Česku v různých obdobích vývoje společnosti od poloviny 19. století a které hybné síly k nim nejvíce přispěly? Čím jsou jednotlivá období a různé typy území z hlediska změn využití krajiny specifické? Jaká je věrohodnost/validita/spolehlivost, vypovídací schopnost a srovnatelnost prostorových databází a produktů generovaných z dat dálkového průzkumu Země?*

3. Dalším výzkumným cílem bylo prověřit/testovat možnosti geoinformačních technologií – konkrétně různých typů satelitních a leteckých obrazových multispektrálních a hyperspektrálních dat a automatických klasifikačních technik i dalších metod DPZ – pro účely monitoringu aktuálního land cover i vývoje poškození a zotavování vzácných či ohrožených horských ekosystémů. Výzkumnou výzvou bylo nalézt vhodný algoritmus (kombinace dat a metod) klasifikace s důrazem na maximalizaci přesnosti získaných výstupů pro specifické území reliktní tundry, kde byly dosud technologie DPZ testovány v omezené míře. Jedním z cílů bylo též vyhodnotit průběh regenerace poškozených lesních ekosystémů v Krušných horách s využitím přístupu tzv. change detection a prověřit možnosti (výhody a omezení) tohoto přístupu.

VÝZKUMNÉ OTÁZKY: Jaký typ dat DPZ (ve smyslu srovnání základních vlastností – prostorového a spektrálního rozlišení) přinese nejlepší výsledky při klasifikaci land cover (zejména vegetace) krkonošské reliktní tundry? Jak budou výsledky klasifikace ovlivněny výběrem konkrétního klasifikačního přístupu? Může časová řada dostupných archivních dat DPZ (konkrétně systému Landsat) přinést relevantní informaci o vývoji poškození a zotavování lesů v Krušných horách od 80. let 20. století do současnosti?

4. Výzvou v případě hodnocení fyziologického stavu vegetace bylo propojení objektu zájmu a přístupů rostlinně biologického výzkumu s objektem zájmu a způsobem výzkumu geoinformatiky. Zjednodušeně lze konstatovat, že na nejnižší úrovni šlo o propojení listoví/jehlic a spektrální křivky, na vyšší úrovni o propojení koruny stromu a pixelu a na nejvyšší úrovni o up-scaling na úroveň porostu/ekosystému a jeho propojení s úrovní digitálního snímku DPZ. V rovině metodologické se potkávaly přístupy geoinformatiky a experimentální a ekologické biologie rostlin. V rámci interdisciplinárního týmu jsme cílili na testování spektroskopických metod určených k hodnocení fyziologického stavu vegetace, využitelnost těchto metod pro komplexní hodnocení narušení a stavu prostředí, ale také na přínos nových poznatků a posun v oblasti metodiky laboratorního spektroskopického měření, která je esenciální z hlediska získání relevantních datových vstupů.

VÝZKUMNÉ OTÁZKY: Jaké jsou možnosti spektroskopických metod (konkrétně empirických modelů) v kombinaci s metodami rostlinně biologickými pro hodnocení komplexního stavu vegetace v oblastech s narušeným životním prostředím? Existují významné rozdíly při spektroskopickém laboratorním měření vegetace kontaktní sondou a laboratorní sférou?

2. Teoreticko-metodologické přístupy, východiska a předmět výzkumu

2.1 Rámcové teoreticko-metodologické přístupy, východiska výzkumu

Krajina jako „část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky“ (Zákon 114/92 Sb., další definice viz např. Demek 1974; Forman, Godron 1993) se v daném prostoru mění v čase v závislosti na přírodních faktorech i ovlivnění člověkem. Historie přeměny krajiny spjatá s činností člověka procházela různými vývojovými etapami, v jejichž průběhu se vliv společnosti stupňoval (Hampl 1998, 2001, 2005; Purš 1973; Bell 1999). Uvažujeme-li o vztahu systémů prostředí–společnost a jeho vývoji v čase, potom můžeme (dle Hampla 1998, 2005) schematicky vyčlenit tři základní etapy vývoje, které se projevují kvalitativně odlišným vztahem systému lidské společnosti a systému přírodního prostředí a které odpovídají různým stupňům vývoje společnosti. V obecné rovině rozlišuje Hampl (1998, 2005) tři základní období – (1) adaptace (přizpůsobování se přírodním determinacím), přes (2) jednostrannou exploataci přírodních zdrojů (konkurenční vztah, kompetice) ke (3) kooperaci (strategie tzv. udržitelného rozvoje, který je spojen sice s využíváním, ale i ochranou a tvorbou prostředí).

Podle Hampla (1998) se jedná o postupné „osvobozování se“ společnosti od vnějších determinací přírodními podmínkami a o rozvíjení nových forem vnitřní (sociální) a vnější (sociálněgeografické) organizace. Lze souhlasit s Hamplem (2005), když dodává, že tato stádia jsou do značné míry zjednodušená, protože se vždy jedná o relativní označení období, v nichž jistě dochází ke kombinaci a spolupůsobení podmiňujících principů a různé míře jejich uplatnění. A je zřejmé, že plné překonání primárních přírodních podmíněností aktivitami společnosti není možné, tudíž bude vždy zachována determinace tohoto typu (Hampl 2005).

I přes snahy o trvalou udržitelnost, jejíž koncept se šířeji začal prosazovat už od konce 80. let 20. století (WCED 1987), se poškozování a ničení přírody, krajiny a životního prostředí prohlubuje a řada problémů jako například znečištění prostředí, ohrožení biodiverzity, klimatická změna a s ní spojené sucho má dnes charakter globálního ohrožení (Lambin, Geist, eds. 2006; Tylianakis 2008; Hooper et al. 2012; Runyan, D’Odorico 2016; Janssens-Maenhout 2015; Trnka et al. 2012, 2017 a další). A právě i z důvodu podmíněnosti existence lidské společnosti stabilizovaným a kvalitním přírodním prostředím stojí současná věda a výzkum před výzvou tyto problémy komplexní povahy, v našem případě změny krajiny, prokázat, dokumentovat, monitorovat a účinně řešit, v ideálním případě jim předcházet, s využitím vhodných indikátorů, datových zdrojů a metodických přístupů. K dosažení úspěchu je v případě výzkumu tak složitého a komplexního objektu, jakým je krajina, nutná kombinace a spolupráce mnoha

různých vědních oborů, aplikace multidisciplinárního, multiměřítkového, multitemporálního a dalších systémových přístupů, které umožní komplexní syntézu získaných poznatků v základním i aplikovaném výzkumu.

Multidisciplinarita v případě studia a monitoringu změn využití krajiny, krajinného pokryvu a stavu vegetace obnáší v obecné úrovni využití teoreticko-metodologického aparátu extenzivního i intenzivního výzkumu (ve smyslu kritického realizmu A. Sayera; Sayer 1992), kvantitativních i kvalitativních přístupů, primárních (získaných v rámci vlastního výzkumu analýzou elementární empirické informace) i sekundárních (převzatých), prostorových i neprostorových dat. V konkrétní rovině jednotlivých disciplín pak kombinaci a podporu dat a přístupů z oblasti geografie, krajinné ekologie, historické geografie, dynamického land use, botaniky, chemie i zastřešujících nástrojů geoinformačních metod – geografických informačních systémů (GIS)¹⁰ a dálkového průzkumu Země (DPZ)¹¹.

Popis geografické reality a studium geografických a krajinných systémů různé složitosti jsou postaveny primárně na analýze geografické informace reprezentované formou *prostorových dat*, *geodat*. Prostorová data¹² jsou specifická v tom, že kromě obsahové (atributové, popisné) složky mají složku prostorovou (lokalizační, topologickou, geometrickou). V posledních desetiletích zaznamenaly technologie sběru, tvorby a analýzy prostorových dat nebývalý rozvoj, který si vynutila narůstající složitost řešených témat a který byl umožněn dynamickým rozvojem moderních informačních technologií. Tradiční metody sběru a zpracování informací postavené ještě v první polovině 20. století zejména na přímém mapování využívajícím geodetické metody, prohlubující se využívání fotogrammetrických metod od poloviny 20. století, následované automatizovanou kartografickou tvorbou s využitím digitální techniky v posledních desetiletích přerostlo v masivní využívání moderních metod a nástrojů *geoinformatiky*, které reprezentuje GIS a DPZ (Lindenlaub et al. 1973; Barret, Curtis 1982; Dobrovolný 1998; Kolář 1990, 1998; Tuček 1998; Burrough, McDonell 1998; Goodchild 2012, Jensen 2005, 2012; Giri 2012).

Každý datový popis složité reality kombinující environmentální a společenské složky je do určité míry zjednodušený. Platí to i pro prostorové modely vyžívané v prostředí GIS. GIS využívá k popisu reality dva základní datové modely – rastrový a vektorový, z nichž každý má své výhody a omezení (Tomlinson 2007; Burrough, McDonnell 1998), přičemž rastrový model je využíván nejen v rámci GIS, ale je to základní datová reprezentace využívaná v DPZ. Velkým přínosem GIS, který zásadně posunul možnosti analýzy prostoru a jeho proměny, je

10 GIS můžeme definovat jako „funkční celek vytvořený integrací technických a programových prostředků, dat, pracovních postupů, obsluhy, uživatelů a organizačního kontextu, zaměřený na sběr, ukládání, správu, analýzu, syntézu a prezentaci prostorových dat pro potřeby popisu, analýzy, modelování a simulace okolního světa s cílem získat nové informace potřebné pro racionální správu a využívání tohoto světa“ (Terminologická komise ČÚZK 2019). Definice GIS je velké množství – další viz například Burrough, McDonnell (1998); Kolář (1998); Voženílek (2000), Tuček (1998); Rapant (2006).

11 DPZ = „získávání dat o zemském povrchu bezkontaktním způsobem, např. z letadla nebo z družice a zpracování těchto dat k získání informací o poloze, stavu a druhu objektů a jevů zemského povrchu“ (Terminologická komise ČÚZK 2019).

12 Prostorová data – „data o poloze, tvaru a vztazích mezi jevy reálného světa, vyjádřená zpravidla ve formě souřadnic a topologie“ (Terminologická komise ČÚZK 2019).

jeho systémovost, kdy jedno prostředí integruje složku prostorovou i neprostorovou, sdružuje nástroje pro tvorbu, správu, analýzu, prezentaci i sdílení prostorových dat. Mohutný rozvoj GIS, jehož počátky se datují již do 60. let 20. století (viz zakladatel Roger Tomlinson a jeho první GIS v roce 1963: Tomlinson 2007), souvisí s rozvojem teorií prostorové analýzy (Harvard Laboratory for Computer Graphics – viz Steinitz 2014, první počítačový mapovací software SYMAP 1965 – Howard Fisher). Již v roce 1969 vznikla komerční společnost ESRI, která v časných 80. letech zpřístupnila první edice ARCINFO pro PC (původně aplikace v lesnictví). K rozšíření využívání GIS přispěla široká komputelizace, nárůst všeobecné počítačové gramotnosti a v 90. letech rozvoj internetu (Burrough, McDonnell 1998).

V posledních desetiletích zaznamenávají geoinformační technologie překotný vývoj, lze hovořit o jejich expanzi do různých vědních oblastí a zejména do praxe a aplikační sféry (Maguire, Goodchild, Rhind 1997; Christiansen 1998; Fu, Sun 2010 atd.). Původně převážně desktopový charakter GIS se mění právě na základě rostoucích nároků komplexních oborů a s extrémním nárůstem objemů analyzovaných dat. Stále významnější roli hrají serverové aplikace (sdílení dat, prezentace dat na internetu) a všeobecné využívání GIS v podobě mobilních aplikací (PDA, mobily, GPS). Aplikace jsou stále interaktivnější, mapy jsou součástí animací a simulací třeba i v rámci systémů záchrany a krizového managementu (například ochrana před povodněmi, požáry nebo suchem¹³ – Brázdil, Trnka et al. 2015; Zhu 2016), webových aplikací a veřejně přístupných mapových serverů, které umožňují jednoduché analýzy (dotazy, vyhledávání, zobrazování vrstev – například katastru nemovitostí). Běžný je vzdálený přístup k datům přes webové mapové služby. Volně dostupné softwarové nástroje akcelerovaly využití GIS technologií v oblasti decizní sféry, ve veřejném privátním i nevládním sektoru a užší propojení výzkumu s praxí. Velký význam pro všestranné využití má i otevřenost a široké možnosti transformace datových formátů.

Pro systematický výzkum geografických komplexů nabízí GIS kromě tvorby dat a odvozování nových informací také možnost kombinace/fúze datových zdrojů i názornou a srozumitelnou prezentaci a vizualizaci výsledků bádání. Zejména pak škálu nástrojů pokročilé analýzy (prostorová statistika, implementace vývojových nástrojů a skriptování, řešení na míru, časoprostorové analýzy, modelování – například hydrologické, 3D modelování a další – Unwin 1996; Zhu 2016 a další). Možnosti vytváření vysoce organizované datové struktury (Spatial Data Infrastructure; Masser 2005) a manipulace s velkými objemy dat včetně jejich sdílení a snadné výměny výsledků vedou k zintenzivnění a propojení výzkumných aktivit na mezinárodní úrovni. GIS se tak stal interdisciplinární internacionální platformou, a nejen v geografii všeobecně srozumitelným prostředím umožňujícím překonávat bariéry i konkurenci mezi obory a dílčími přístupy. Přináší rozvoj spolupráce v rámci různých výzkumných týmů, sítí, iniciativ a projektů, provázanost a kooperaci, akceleroje komplexní poznání, a přispívá tak k holistickému studiu složité reality a společensky relevantních problémů.

K rozvoji GIS docházelo již od počátku v relativně těsném sepětí s rozvojem *dálkového průzkumu Země*, který lze považovat zejména se zdokonalováním této technologie za zcela zásadní datový zdroj pro analýzy krajiny a jejích změn. Dálkový průzkum Země umožňuje doplnit

tradiční metody pozemního sběru dat o novou dimenzi dat získaných dálkovým snímáním senzory umístěnými na leteckých a družicových nosičích a nověji i senzory nesenými drony neboli UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) neboli RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System* – terminologie viz Pavelka 2016). DPZ je dnes díky novým vesmírným programům a výzkumným aktivitám zejména různých kosmických agentur, ale i soukromého sektoru a rychle se vyvíjejícím technologiím nejrozšířenější metodou získávání prostorových dat o zemském povrchu (viz např. Gutman et al. 2008; Liang 2017). Více k historii a rozvoji technologií DPZ viz kapitola 2.3.

Principiálně DPZ vychází z fyzikální podstaty elektromagnetického záření a jeho interakcí s objekty na zemském povrchu (Lillesand, Kiefer 2004; Jensen 2005; Kolář 1990; Dobrovolný 1998; Giri, ed. 2012). Pracuje se zářením odraženým, emitovaným či procházejícím objekty v určitých oblastech elektromagnetického spektra. Chování objektů a povrchů v různých částech elektromagnetického spektra je typické (tzv. spektrální charakteristika), čehož se využívá pro třídění/klasifikaci objektů na povrchu Země. Velkou výhodou a informačním přínosem dat DPZ je to, že kromě složky lokalizační (kde se objekt nachází) a popisné (jaký je to objekt) nesou tato data také informaci kvantitativní povahy o stavu/kvalitě objektů (jako je například teplota objektu, relativní obsah vody nebo fotosyntetických pigmentů ve vegetaci, míra znečištění vodního prostředí apod.) – viz Jensen (2005); Chang (2013); Thenkabail, Lyon (2011); Malenovský et al. (2013); Kopačková et al. (2015); Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. (2017).

Využitelnost obrazových dat DPZ nejen pro hodnocení stavu a vývoje krajiny, ale v obecné úrovni, závisí na jejich typu a vlastnostech. Pro výběr vhodných dat v různých řádovostně-měřítkových úrovních je rozhodující tzv. prostorové rozlišení. To je dáno velikostí pixelu (nejmenší obrazová jednotka) a může se v závislosti na typu senzoru pohybovat od několika set metrů až do úrovně jednotek centimetrů (například letecké snímání nebo optické kamery, které nese RPAS). Spektrální rozlišení (počet spektrálních pásem, jejich šířka i umístění v rámci elektromagnetického spektra) je zásadní pro odlišení různých objektů/materiálů v obraze, určuje i to, do jaké míry bude možné hodnotit stav daného objektu. Panchromatické snímky (například černobílé letecké snímky) dovolují většinou pouze identifikaci základních typů krajinného pokryvu. Multispektrální data (nejčastěji cca 4–10 spektrálních pásem) umožňují detailnější a přesnější klasifikaci a při vhodném způsobu analýzy poskytují i základní informace o stavu objektů (Lillesand, Kiefer 2004; Jensen 2005; Dobrovolný 1998). Pro exaktnější hodnocení stavu objektů jsou nejvhodnější tzv. multispektrální data (desítky až stovky úzkých spektrálních pásem, která na sebe těsně navazují) – Chang (2013); Thenkabail, Lyon (2011). Chceme-li detekovat změny, je potom důležité tzv. časové rozlišení (interval, s jakým je dané místo snímáno opakovaně). To je pevně stanoveno u družicových systémů, které pravidelně oblétají Zemi v určitých intervalech. V případě komerčních systémů je možné konkrétní termín snímání objednat/naprogramovat. Dnes již existuje i systém, který celou Zemi (pevninu) nasnímá každý den (družice Dove americké společnosti Planet Lab¹⁴). Velkou flexibilitu v časovém rozlišení poskytuje letecké snímání nebo snímání pomocí RPAS.

Jedním z přístupů, který pomáhá překonávat některá principiální a technická omezení dat DPZ, je kombinace dat z různých typů senzorů či z různých termínů. Tzv. datová fúze (Xin

14 <https://www.planet.com/>

et al. 2013; Joshi et al. 2016) či harmonizace (Claverie et al. 2018) je vhodná zejména proto, že kombinace principiálně rozdílných typů dat (například optických a radarových¹⁵) může vést ke zvýraznění různých charakteristik objektů, a přispět tak k jejich přesnější identifikaci/klasifikaci/charakteristice. Testování různých typů dat je důležité i z důvodu, že každý senzor má jiné vlastnosti a za neustálého rychlého rozvoje technologií DPZ není vždy zřejmé, pro jaké analýzy je který typ dat nejvhodnější. Cílem výzkumu je tedy často toto zjistit (Justice, Townshend 1981; Raczko, Zagajewski 2017; Kupková et al. 2017). Kombinace dat z více termínů je potom zásadní právě při analýze změn, které je možné odhalit z časové řady dat v rámci tzv. multitemporálního přístupu (neboli *change detection* – Tewkesbury 2015; Zhu 2017). Hodnoceny jsou buď změny dlouhodobé, meziroční nebo i v průběhu jedné sezóny (tzv. sezónní *change detection*).

Kombinace datových zdrojů tak pomáhá do určité míry také eliminovat omezení, která data DPZ mají. Velkým omezením, zejména v určitých oblastech (například horské oblasti), je v případě optických dat počasí, konkrétně oblačnost. Zde je důležitá právě vysoká frekvence snímání, aby byla šance, že data alespoň z některých termínů budou bezoblačná. Kombinace a testování výsledků analýz s využitím dat s horšími a lepšími parametry může zase ukázat, do jaké míry je třeba vynakládat finance na komerční data s lepšími parametry ve srovnání s daty volně dostupnými, která mohou mít vybrané parametry horší.

Další jisté omezení DPZ vyplývá z nutnosti korigovat některé chyby dat, které vznikají již při snímání. Jedná se o tzv. radiometrické, atmosférické a geometrické korekce. Metody, využívané pro tyto korekce, jsou různě náročné a přinášejí více či méně přesné výsledky (Lillesand, Kiefer 2004; Jensen 2005; Dobrovolný 1998; Chang 2013). Náročnější jsou v případě dat s velkou dimenzionalitou a dat velkých objemů (zejména hyperspektrální data – Chang 2013; Thenkabail, Lyon 2011). Důležitou součástí získávání obrazových hyperspektrálních dat je také terénní podpůrná kampaň, v rámci níž jsou sbírána data potřebná právě ke korekci obrazových záznamů (Chang 2013; Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017).

Po předzpracování dat DPZ následuje jejich samotná analýza; ta představuje proces transformace radiometricky pořízených dat do podoby sémantické informace s prostorovým atributem (Kolář 1990; Dobrovolný 1998). Přístupy k analýze dat jsou většinou poloautomatické nebo automatické a vycházejí jednak z úpravy histogramu s cílem zvýraznit některé jeho složky (vyrovnání jasu, kontrastu, roztažení histogramu, filtrace), dále jsou používány operace s pásmy obrazu – tzv. matematická algebra (rastrové kalkulátory) anebo různé typy klasifikace obrazu.

V případě analýzy vegetace jsou zvláště důležité tzv. vegetační indexy¹⁶ (nejznámější je *Normalizovaný vegetační diferenční index* – NDVI postavený na rozdílné odrazivosti vegetace

15 Pasivní senzory pracují v takzvané odrazové části elektromagnetického spektra (380–3 000 nm). Ta zahrnuje viditelnou (VIS, 400–720 nm), blízkou infračervenou (NIR – near infrared, 720–1 400 nm) a střední infračervenou (SWIR – short-wavelength infrared, 1 400–3 000 nm) část spektra. Vzdálená infračervená část (3–1 000 μm) je odlišná od části odrazové, neboť v této oblasti převažuje podíl záření vyzářeného na úkor odraženého záření. Optická část spektra zahrnuje odrazovou část elektromagnetického spektra a v širším kontextu je do ní řazena i termální část spektra. Radary pracují v oblasti mikrovlnného spektra s vlnovými délkami 1 mm až 1 m (Zemek et al. 2014).

16 <https://www.indexdatabase.de/>

ve viditelném červeném a blízkém infračerveném pásmu – viz Thenkabail, Lyon 2011). Účelem vegetačních indexů je primárně zvýraznění vybraných vlastností vegetace. Pro multispektrální vegetační indexy (tzv. broadband) je charakteristické, že indikují primárně přítomnost vegetace a v omezené míře je následně možné je korelovat s konkrétní charakteristikou (např. stresovým faktorem). Možnost aplikace vegetačních indexů obecně roste s vyšším spektrálním rozlišením dat. Hyperspektrální vegetační indexy (tzv. narrowband) jsou založeny na podobném principu, ale vysoké množství a úzké vymezení pásem umožňuje přesnější výběr spektrálního rozsahu, a tedy i přesnější korelaci s pozorovaným jevem (vyšší senzitivita, eliminace saturace) – viz Thenkabail, Lyon (2011); Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. (2017).

Nejčastějším typem analýzy v DPZ je *klasifikace*. Při klasifikaci se využívá podstaty DPZ – tedy skutečnosti, že různé typy povrchů/objektů vykazují rozdílné spektrální chování v různých oblastech spektra, resp. pásmech obrazu a na základě toho jsou rozlišitelné (potenciál multi/hyperspektrálních dat) – viz Lillesand, Kiefer (2004); Jensen (2005); Dobrovolný (1998); Hamlyn, Vaughan (2010). Klasifikace je obecně proces, při kterém jednotlivé objekty zařazujeme do kategorií podle určitého příznaku a na základě určitých rozhodovacích pravidel (algoritmu/klasifikátoru – v případě DPZ využíváme například klasifikátor *Isodata*, *Maximum Likelihood*, *Support Vector Machine*, *Neural Network* a další – viz Lillesand, Kiefer 2004; Jensen 2005; Dobrovolný 1998). Klasifikaci primárně dělíme na řízenou a neřízenou. Řízená klasifikace vyžaduje tzv. trénovací množiny, ideálně data o lokalizaci jednotlivých typů/kategorií klasifikovaných objektů nasbíraná přímo v terénu.

Rozlišujeme tzv. *pixelový* a *objektový* přístup ke klasifikaci (Jensen 2005; Campbell 2011). V případě objektového přístupu nejsou klasifikovány jednotlivé pixely, ale objekty z pixelů vytvořené v rámci tzv. segmentace obrazu na základě určitých pravidel (např. homogenity). Příznakem není pouze spektrální charakteristika, ale i další vlastnosti objektů – například tvar, velikost, struktura objektů, vzájemné prostorové vztahy či hierarchie objektů (Jensen 2005). Různé klasifikační přístupy a využití různých klasifikačních algoritmů může přinést odlišné výsledky. Po ukončení klasifikace následuje hodnocení její přesnosti většinou s pomocí určitých statistických veličin (zejména tzv. celkové přesnosti, Kappa koeficientu, zpracovatelské a uživatelské přesnosti – Jensen 2005; Dobrovolný 1998). V případě nedostatečné přesnosti klasifikace je možné upravit trénovací množiny, pozměnit parametry klasifikačního algoritmu nebo využít jiný klasifikátor. Testování a nalezení optimálního klasifikačního algoritmu je jednou ze základních úloh DPZ, důležitou právě i v případě analýzy krajiny a jejích změn, a proto jedním z nejčastějších cílů analýz v DPZ prováděných (Li et al. 2014; Ma et al. 2017). Do určité míry specifické přístupy analýzy vyžadují data spektroskopická, ať již obrazová nebo laboratorní (viz Thenkabail, Lyon 2011; Chang 2013) – podrobněji o nich pojednává kapitola 2.4.

Dalším komplexním geoinformačním přístupem a perspektivním geoinformačním výzkumným směrem, který může využívat výstupy výše zmíněných klasifikací dat DPZ, případně v kombinaci i s jinými typy prostorových dat v prostředí GIS nebo speciálních analytických nástrojů, je *modelování* či *predikce budoucího vývoje*. Modelován je dle různě nastavených požadavků a scénářů vývoj využití krajiny, měst, regionů (Verburg 2006; Verburg et al. 2009; Batty 2009; Schulz 2010; Zhang 2011) nebo v širším pojetí třeba jevů spojených se změnou klimatu (např. tání ledovců a následné zvyšování hladiny oceánů – Mu et al. 2018). Verburg et al. (2004) vnímají modely (resp. modelovací prostředí, software) v oblasti analýzy krajiny

jako nástroje umožňující analýzu příčin a následků změn krajiny a predikci budoucího vývoje s porozuměním fungování využívání krajiny vedoucí k následnému vytváření územní strategie či územního plánu. Během posledních desetiletí byl v oblasti predikce využití krajiny vytvořen nespočet nejrůznějších modelů (například modely Dyna-CLUE, Land Change Modeller, SLUDGE, UrbanSim, LTM - Land Transformation Model, LEAM - Land Use Evaluation and Impact Assessment Model, SLEUTH - Slope, Land Use, Exclusion Zone, Urban a další) postavených na různých přístupech a metodách modelování jako například Cellular automata, fuzzy logika, Markovovy řetězce, logistická regrese, neuronové sítě (viz např. Lambin, Rounsevell, Geist 2000; Brown et al. 2004; Agarwal et al. 2001; Verburg et al. 2009; Clarke, Hoppen, Gaydos 1997; Sun et al. 2005). Modelování by v ideálním případě mělo být úzce propojeno s praxí plánování a správy území.

Modelování, stejně jako většinu dalších analýz v geoinformatice a geografii obecně, je možné provádět v různých typech územních jednotek a řádovostně-měřítkových úrovních, ať se již jedná o jednotky uměle vymezené (například katastr - okres - kraj) nebo přírodní (porost - ekosystém - krajinný celek). Při analýze změn a jejich příčin v případě složitých geosocietálních systémů a nejrůznějších vazeb by podle Hampla (1998) měly být výsledky výzkumu potvrzovány na více prostorových úrovních, aby bylo možné nalezení univerzálního řádu. Geoinformatika má dnes pro tento účel relativně dostatečné datové zdroje i nástroje (např. integrace, škálovatelnost a kompatibilita dat různých měřítek v prostředí GIS). Hampl (1998) dále uvádí, že směrem od nižších k vyšším jednotkám (od lokální úrovně až po globální) roste složitost a komplexnost systémů ve více dimenzích (prostorová, vývojová, strukturální). V případě složitých dynamických komplexů je proto vhodné používat k jejich studiu v rámci problémově orientovaných výzkumů (Johnston et al. 2001; Sýkora 2008) nomotetické přístupy a metody systémové analýzy (Bertalanffy 1969; Kaufmann 1995; Hampl 2005), které jsou v geoinformatice do značné míry umožněny právě i integrací a kombinací různých datových zdrojů a nastíněných komplexních přístupů - multiměřítkového, multitemporálního a multidisciplinárního.

2.2 Hodnocení změn využití krajiny a jejich hybných sil – předmět výzkumu a teoreticko-metodologické přístupy

Tradičním a široce využívaným indikátorem, který dokládá vliv člověka/společnosti na krajinu/přírodu a odráží proměny jejich vzájemné interakce, je v širším pojetí tzv. *využití krajiny* (způsob, intenzita, změny využití krajiny). V mezinárodním seznamu environmentálních indikátorů OECD figuruje jako indikátor tlaku na prostředí *struktura využití půdy a její proměna* (land use patterns and conversions – OECD 1993). Výzkum využití krajiny a jeho změn vychází z několika úžeji vymezených pojmů. Dvěma základními jsou *využití půdy/země* (land use – LU) a *krajinný pokryv* (land cover – LC)¹⁷. Ačkoliv existují jejich poměrně jednoznačné definice, používání těchto termínů není přes zřejmé rozdíly v jejich obsahu zcela jednotné a exaktní a ve výzkumné praxi a různých klasifikačních systémech nejsou často jejich rozdíly vnímány či respektovány. Mnohdy ani není přesné rozlišení možné například z důvodu nedostupnosti dostatečných datových podkladů, uplatňují se dílčí přístupy jednotlivých badatelů či výzkumných škol, které reagují na metodiku či cíle hodnocení, na měřítko i typ hodnoceného území (podnebný pás, typ krajiny apod.), využívány jsou různé legendy. Integrovaný termín *land use / land cover change* (LUCC nebo LCLUC) používají i některé významné mezinárodní iniciativy/organizace¹⁸ v oblasti výzkumu využití krajiny.

Z metodologického hlediska (způsobu pořízení datové základny) lze konstatovat, že LC je většinou zjišťován terénním mapováním nebo pomocí dálkového průzkumu Země, zatímco studium LU vyžaduje znalost o managementu území a vychází z dat, která obsahují informaci o využití území, například ze záznamů katastrální evidence nebo Veřejného registru půdy LPIS¹⁹ (Bičík et al. 2015; Sklenička et al. 2014; Zimmermann et al. 2016) nebo i z terénního šetření. Výzkum LU a LC je v našem pojetí obecně označován zastřešujícím termínem „výzkum využití krajiny“ a v dílčích studiích (viz kapitola 3.1) jsou potom termíny land use a land cover použity adekvátně tomu, z jakých dat vycházíme. V případě dat DPZ jde o výzkum/kategorie krajinného pokryvu (land cover), v případě využití dat katastrální evidence (na nichž je postaven náš hlavní datový zdroj Databáze LUCC Czechia (2019)²⁰ – podrobně viz kapitola 3), kde je databázovým atributem kategorie využití půdy / půdního fondu (viz i definice kategorií – druhů pozemků²¹), pak operujeme s termínem využití půdy (land use).

17 Vydeme-li z definice Eurostat (2019), pak je land cover definován jako pozorovatelný (bio)fyzikální pokryv zemského povrchu (například zemědělské plodiny, tráva, listnatý les, zástavba), zatímco land use odpovídá socioekonomickému využití půdy (například zemědělství, lesnictví, rekreace, rezidenční využití). Dle FAO (2002) „je land use charakterizován opatřeními, aktivitami a vstupy, které lidé provádějí na jistém typu land cover za účelem produkce nebo jeho změny či údržby“. Velmi podobně tyto termíny definují i další klasičtí autoři v oboru jako Turner II et al. (1995) nebo Lambin, Geist, eds. (2006).

18 Například komise IGU Land Use and Land Cover Change (LUCC) (<http://lucc.zrc-sazu.si/>) nebo NASA Land-Cover and Land-Use Change (LCLUC) Program (<https://lcluc.umd.edu/>). Viz i množství studií, které vznikly v rámci těchto iniciativ – např. Bičík et al., eds. (2012, 2015); Kupková, Himiyama, eds. (2018); Gutman, Reissell, eds. (2011); Justice, Gutman, Vadrevu (2015); Molinario et al. (2017).

19 LPIS – <https://www.szif.cz/cs/lpis>

20 <http://web.natur.cuni.cz/ksgrrek/lucc/index.php/data/>

21 <https://www.cuzk.cz/Periodika-a-publikace/Statisticke-udaje/Souhrne-prehledy-pudniho-fondu.aspx>, http://galerie.gymjil.cz/sg_web2/zemedelstvi/zemedelstvi_pudni_fond.htm

Výzkumy využití krajiny mají dlouhou tradici, historie této disciplíny byla popsána v mnoha publikacích (například viz Geist, ed. 2006; Bičík et al. 2015; Kabrda 2009; Štych 2017). Na tomto místě považuji za důležité zmínit alespoň vybrané teoretické koncepty a metodické přístupy, které nejvíce ovlivnily náš výzkum nebo jsme je přímo využívali, a upozornit na některé aktuální metodické pokroky a současná výzkumná témata. Zároveň je třeba alespoň stručně představit vývoj a současné postavení disciplíny na základě jejího odrazu v literatuře.

Ačkoliv od doby založení moderního výzkumu využití ploch (land use) britským geografem L. D. Stampem (Stamp 1948) uplynulo už přibližně 70 let a přes nesporný přínos výzkumu LU, LC v rovině obecné (Turner II 1989; Turner II et al. 1995; Antrop 2005; Geist, ed. 2006; Lambin, Geist, eds. 2006; Aspinall, Hill 2007) i aplikační (Aspinall 2007; Gellrich et al. 2007; Erb et al. 2013; Jerrentrup et al. 2017) ucelnější teorii a systematickou metodologii výzkumů LU, LC dosud postrádáme. Kabrda (2009) v této souvislosti zmiňuje jako možný důvod interdisciplinární povahu výzkumu na pomezí přírodních, prostorových a společenských věd. Dosavadní výzkumy se snaží aplikovat výše zmíněné systémové přístupy (viz kapitola 2.1) a v ideálním případě (právě i z důvodu nutnosti propojit přírodní a sociální vědy a jejich metody, jak uvádí řada publikací: Jeleček 2002; Krausman et al. 2003; Bürgi, Hersperger, Schneeberger 2004; Kabrda 2009; Plieninger et al. 2016; Bürgi et al. 2017) by měl být výzkum změn využití krajiny dvoustupňový – ve smyslu přístupů kritického realizmu (viz Sayer 1992). Měl by kombinovat v extenzivní fázi využití metod kvantitativní povahy a v intenzivní fázi kvalitativní přístupy. V první – extenzivní fázi jsou analyzována empirická data číselné/měřitelné povahy (zejména různými statistickými metodami) a aplikovány deduktivní přístupy. Typickým rysem je objektivita. Hledány jsou určité vzorce či pravidelnosti (ve využití ploch a jejich změnách). Ve druhé – kvalitativně zaměřené části výzkumu – se pak snažíme o vysvětlení nalezených vzorců, potvrzení existence příčin, podmíněností a souvislostí (Sayer 1992)²².

Přístupy intenzivního a extenzivního výzkumu se snaží kombinovat i většina dílčích konceptů studia využití krajiny, které dosud vznikly. Jedním z nich je koncept tzv. *DPSIR*. Jde o formalizovaný přístup, který vysvětluje změny na základě zpětné vazby obousměrného vztahu společnost-příroda. *DPSIR* model (inspirovaný systémovým přístupem) lze chápat jako obecný logický rámec pro analýzu změn využití krajiny a jejich hybných sil. Podle tohoto přístupu je při sociálním a ekonomickém vývoji (zejména růstu populace a jejich potřeb), které jsou označovány jako hlavní tzv. *hybné síly* (*Driving forces*), vyvíjen *tlak* (*Pressure*) na prostředí, jehož důsledkem se mění *stav* (*State*) prostředí. To dále vede k *dopadům* (*Impacts*) na ekosystémy, lidské zdraví atd. Tyto dopady mohou vyvolat *odpověď* (*Response*) společnosti, která je vedena snahou eliminovat či regulovat určitým způsobem nastalé změny, resp. hybné síly, jež změny způsobují. Tento model lze za předpokladu definování a kvantifikace proměnných a nalezení vztahů mezi nimi prakticky využít k analýze reálné situace či predikci budoucího vývoje (Pirrone et al. 2005; Gari, Newton, Icelly 2015).

22 Podle Sayera (1992) je úkolem intenzivního výzkumu rozlišení mezi „nutnými“ a „nahodilými“ podmínkami vztahu. Cílem při rozšiřování poznání je nalezení a pochopení maximálního množství nahodilých podmínek, díky čemuž určíme, co je pro existenci daného vztahu potřebné a co již ne. Jedině znalost nutných podmínek je přenositelná do jiného času a prostoru, a tedy prakticky obecně použitelná (Sayer 1992).

S jednoduchým, ale pokrokovým teoretickým konceptem tzv. „víceúrovňovým explanačním schématem“, které definuje 3 typy tzv. hybných sil (driving forces – v podstatě příčiny změn – DF), jenž ovlivňují změny využití krajiny, přišel na přelomu tisíciletí skotský geograf A. Mather (např. Mather 2002). Kvantifikovatelné ukazatele (DF), u nichž lze nalézt přímou souvislost (statistickou korelaci) s využitím ploch (např. přírodní podmínky či populační vývoj), označil za faktory *proximate* (bezprostřední). Proximate faktory nejsou stálé a v čase se mění (směr a síla jejich působení) a závisí na faktorech *intermediate* (přechodných). To jsou ekonomické a technologické faktory, pomocí nichž společnost ovlivňuje okolní prostředí. Ty jsou ovšem dále podřízeny proměnám faktorů *underlying* (základních/nadřazených). Mezi ně jsou počítány zejména politické, institucionální a kulturní charakteristiky společnosti.

Některé studie zabývající se hybnými silami (Aspinall 2007; van Vliet et al. 2015; Meyfroidt 2016; Plieninger et al. 2016) rozlišují podle následovníků Mathera, jimiž byli např. Geist, Lambin (2002), pouze dva základní typy DF. Jsou to *proximate* DF na lokální úrovni s přímým dopadem na změny krajiny a *underlying/indirect* (nadřazené/nepřímé DF), což jsou rozhodující sociální procesy, které obvykle mají nepřímý, ale často zásadní dopad na národní, regionální nebo globální úrovni (Meyfroidt et al. 2013; Meyfroidt 2016; van Vliet et al. 2015). Lambin, Geist, eds. (2006) také třídí DF dle časového hlediska. Dlouhodobé (biofyzikální a socioekonomické) faktory, které mají pozvolný účinek (např. klima, topografie, biota, ekonomické podmínky, politický systém), oddělují od faktorů, které působí jako tzv. „spouštěče“ (*triggers*; sucha, tropické cyklony, krize). Výzkumu širokého spektra hybných sil, který umožnil dokonaleji interpretovat a do určité míry na některých úrovních generalizovat zjištěné/kvantifikované změny, byla jako jednomu ze zásadních směrů v posledních desetiletích věnována pozornost v mnoha publikacích (Turner II 1989; Bürgi, Hersperger, Schneeberger 2004; Krausman et al. 2003; Mather 2006; DeFries et al. 2010; Hesperger et al. 2010; Munteanu et al. 2014; Meyfroidt et al. 2013; Terres et al. 2015; Levers et al. 2016; Bürgi et al. 2017). Ani klasifikace DF však není dosud jednotná a publikace zabývající se hybnými silami používají různé, obvykle ne zcela systematické třídění.

Vedle analýzy hybných sil jsou dalšími důležitými výzvami aktuálního výzkumu v oblasti změn využití krajiny například klasifikační systémy (jejich univerzálnost a komplexnost legend, definice kategorií, srovnatelnost – viz např. Herold, Di Gregorio 2012; Feranec et al. 2014) a validace a srovnatelnost klasifikačních produktů (národních, kontinentálních i globálních – viz např. Herold et al. 2016; Manakos et al. 2018). Tyto otázky jsou důležité například pro kombinaci, kompatibilitu a komparabilitu dat, směřují ke zlepšení využitelnosti jednotlivých produktů a většinou se neobejdou bez spolupráce mezinárodních týmů odborníků. Proto se v poslední době rozvíjejí aktivity různých mezinárodních skupin, které se těmto problémům věnují (Defourny et al. 2012; Feranec et al. 2014; Manakos et al. 2018) – viz i kapitola 3.1.

Ve snaze o souhrnné pojetí výzkumu využití krajiny a v souvislosti s potřebami praxe až na globální úrovni představují Lambin, Geist, Rindfus (2006) a Turner II, Lambin, Reenberg (2007) tzv. *land change science* („vědu o změnách využití půdy“). Pojímají ji jako interdisciplinární výzkumný směr, jehož úkolem je porozumět dynamice LU a LC jako propojeného systému společnosti a přírodního prostředí. Za nejdůležitější oblasti výzkumu této disciplíny označují (1) pozorování a monitoring, (2) porozumění systému příčiny – dopady – konsekvence a (3) modelování a syntézu. I přesto, že dosud nevznikla jednotná a ucelená teorie studia

změn využití krajiny, lze ve výzkumu nalézt opakující se témata – například (1) pojetí využití krajiny jako výsledku interakce přírody a společnosti, s existencí zpětných vazeb, (2) poznání, že využití ploch je výsledkem nejen současných, ale i minulých procesů (krajina má „paměť“) či (3) dělení faktorů ovlivňujících využití ploch na *underlying* a *proximate* (Kabrda 2009). Některé nedávné publikace navíc přinesly hodnotné metodické příspěvky například pro zlepšení srozumitelnosti terminologie (Meyfroidt 2016), pro hodnocení intenzity využití krajiny (Erb et al. 2013) nebo pro klasifikaci DF (van Vliet et al. 2015; Meyfroidt 2016; Plieninger et al. 2016).

O systematické pojetí výzkumu využití krajiny se nejnověji pokusili Aspinall, Staiano (2017) ve svém koncepčním modelu popisujícím dynamiku systému země (půdy), který vnímají jako propojený společensko-environmentální systém. Model je velice komplexní, jeho ústřední součástí je land use a land cover. Dále zahrnuje ekosystémové služby, lidské aktivity (DF) a jejich dopady, vazby mezi socioekonomickým systémem a přírodním systémem a jejich subsystémy. Podle autorů je účelem modelu poskytnout holistický rámec, do něhož mohou být začleněny veškeré složky systému. Dále má model ambice směřovat k rozvoji plně integrovaného a interdisciplinárního porozumění, analýze a studiu LU a LC dynamiky, s explicitním zaměřením na vztahy mezi společenskými a přírodními systémy (Aspinall, Staiano 2017). Model je sice komplexní a je to poprvé, kdy se někdo pokusil integrovat prakticky „vše“, co se tématu týká, ale má charakter víceméně popisný a jeho praktické využití je spíše jen v uvědomění si souvislostí, vazeb a složek systému.

Pokroky na poli hledání ucelené teorie a metodologie i při výzkumu dílčích témat umožňuje téměř nevyčísitelné množství případových studií na lokální, národní či regionální úrovni z celého světa (za všechny jmenujme například Marschner 1958; Liu et al. 2003; Krausman et al. 2003; Siriwardena et al. 2006; Roy, Giriraj 2008; Kuemmerle et al. 2009; Rašín, Chromý 2010; Skaloš et al. 2012; Štych et al. 2012a; Jeleček et al. 2012; Bucala-Hrabia 2017). Na mezinárodní úrovni je výzkum akcelerován a jeho výstupy dokladovány prostřednictvím moderních syntetických studií typu review (Plieninger et al. 2016; Hansen, Loveland 2012) nebo meta-analýz (McConnell, Keys 2005; Rudel 2008; Munteanu et al. 2014) či shrnujících monografií (Lambin, Geist, eds. 2006; Bičík et al. 2015; Gutman, Radeloff, eds. 2017) a atlasů (Miklós, ed. 2002; Hrnčiarová, Mackovčín, Zvara et al. 2009; Bičík et al., eds. 2012; Kupková, Hymiyama, eds. 2018). Široký záběr výzkumu vychází také z množství směrů národních škol²³. Významné pro rozvoj oboru je v současné době zejména propojení národních týmů v rámci mezinárodních projektů a iniciativ (International Geosphere-Biosphere Programme / International Human Dimensions Programme Land-Use and Land-Cover Change²⁴,

23 Za všechny je možné jmenovat například Německo – Humboldtova univerzita v Berlíně – tým P. Hosterta, Japonsko – Hokkaido University of Education – současný předseda IGU Y. Himiyama a jeho výzkum land use v Asii, Slovensko – viz níže – několik institucí, Nizozemsko – tým environmentální geografie na Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam pod vedením P. Verburga zaměřenou na analýzu a modelování land use, Rakousko – škola sociálního metabolismu na Insitutu sociálního metabolismu a její představitel F. Krausmann, Slovinsko – tým z Geografického ústavu Antona Melika pod vedením M. Gabrovce využívající podklady stabilního a dalších katastrálních mapování, náš výzkumný tým LUCC Czechia pod vedením I. Bičíka (<http://web.natur.cuni.cz/ksgrrek/lucc/>) a mnoho dalších.

24 <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/international-geosphere-biosphere-program>

Future Earth²⁵, Global Land Project/Programme²⁶, NASA program Land-Cover and Land-Use Change²⁷, IGU Land Use and Land Cover Change Commission²⁸ a další).

Rozvoj výzkumu v rámci mezinárodní vědecké komunity je dán i využitím a kombinací různých zdrojů dat. Mezi nejčastěji využívané patří staré i současné mapy (Fuchs et al. 2015a, 2015b; Bičík et al. 2015), vstupy z terénního mapování (Bičík et al., eds. 2012; Štych et al. 2012a; Bucała-Hrabia 2017), prostorové databáze a produkty postavené na katastrálních evidencích (Gabrovec, Kladnik 1997; Gabrovec, Petek, Kladnik 2001; Bičík et al. 2015) nebo odvozené z dat DPZ (Feranec et al. 2002; Jung et al. 2006; Tsendbazar, De Bruin, Herold 2015), primární data DPZ, ať již satelitní (Joshi et al. 2016; Giri, ed. 2012), letecká (Foster 1932; Gerard et al. 2006, 2010) nebo z RPAS (Müllerová et al. 2017). Pro analýzu DF se pak využívají různé socioekonomické ukazatele (statistiky FAO, Eurostat, národní statistiky) a fyzickogeografická data charakterizující přírodní podmínky (nadmořská výška, klimatická, půdní apod.) – viz např. Štych (2007); Munteanu et al. (2014) a další. Z pohledu analýzy DF jsou relevantní i datové zdroje kvalitativní povahy, jako jsou výsledky dotazníkových šetření, přímých rozhovorů s místními aktéry apod. (Jančák et al. 2010; Chromý, Skála 2010; Feřtřová, Špačková, Ouředníček 2013).

Rozsáhlá škála datových zdrojů je analyzována širokým spektrem metod a nástrojů. K využívaným metodám kvantitativní analýzy pro popis stavu a změn a hledání prostorových vzorců patří bilanční ukazatele (podíly kategorií na rozloze, změny rozlohy v čase) nebo agregátní ukazatele jako typologie či indexy – podrobně například viz Bičík et al. (2015). Metodám kvantitativní analýzy dat DPZ se podrobněji věnuje v kapitolách 2.1 a 2.3. Souvislosti mezi jevy jsou hodnoceny s využitím statistických a matematických metod (např. jednoduchá či vícenásobná regrese, faktorová analýza, vícerozměrné explanační modely). Jako závislá proměnná do statistických metod vstupuje ukazatel využití ploch (podíl určité kategorie využití, agregátní koeficient apod.). Jako nezávislé proměnné jsou použity různé kvantifikovatelné vysvětlující charakteristiky jako například nadmořská výška, cena půdy, počet obyvatel nebo hustota zalidnění. Pro hodnocení příčin změn je v případě nedostatečné datové základny nezávislých proměnných možno využít také expertní hodnocení (Jeleček 2002; Bičík et al. 2015). Jak bylo uvedeno výše (kapitola 2.1), ideální je dnes integrovat data v prostředí GIS, kde mohou probíhat i jejich následné analýzy (například metody výběru, prostorového překryvu, prostorové statistiky) a vizualizace. V tomto prostředí mohou být také data využívána pro modelování, ať již analýzu závislostí nebo predikci budoucího vývoje na základě různých scénářů (Verburg et al. 2009; van Vliet et al. 2016).

Modelování budoucího vývoje (více již bylo zmíněno v kapitole 3.1) je jednou z aplikací výzkumu LUCC. Výzkum využití krajiny má několik směrů a rovin praktické aplikace, které opět z důvodu nedostatku prostoru jen stručně zmíním a odkáži na příslušnou literaturu nebo dokumenty. Výzkum může přispět jednak v úrovni politické/strategické/institucionální/legislativní, ať již v měřítku národním, regionálním (např. EU) nebo globálním. Jde na jedné straně o poskytování cenných podkladů pro formování politických a strategických rozhodnutí

25 <http://www.futureearth.org>

26 <https://glp.earth/>

27 <https://lcluc.umd.edu/>

28 <http://lucc.zrc-sazu.si/>

a tvorbu příslušných směrnic a legislativního rámce (například zemědělská politika, energetická politika EU – biopaliva, strategie zabezpečení potravin FAO – FAO 1993 nebo FAO 1994 apod.) a na druhé straně o analýzu samotných dopadů a důsledků konkrétních politik (vyhodnocení významu dotací pro LFA, dopady CAP na biodiverzitu, vliv různých politických opatření na cykly uhlíku či dusíku a změny klimatu – Bičík, Jančák 2005; Donald et al. 2006; Gingrich et al. 2007; Jerrentrup et al. 2017 atd.) a o příspěvek k vývoji strategií pro adaptaci na změny a jejich dopady.

Druhou aplikační rovinou výzkumu využití krajiny je (i ve vazbě na výše zmíněné politiky a institucionální rámce) praktický management krajiny a jeho plánování, pro nějž výzkum poskytuje konkrétní data a poznatky, například monitoruje změny, identifikuje vazby, vztahy, vzorce, DF (včetně interpretace) a pomáhá změny vysvětlovat. Toto vše je důležité pro porozumění mechanismům změn. Konkrétně má výzkum změn krajiny nesporný význam pro územní a krajinné plánování (může poskytnout podklady v oblastech hodnocení krajinného potenciálu, zdrojů, únosnosti území, ekologické stability, hodnocení krajinného rázu, vyhodnocení ekosystémových služeb – Lipský 1992, 1995, 1996, 1997; Hardelin, Lankoski 2018; Svobodová 2011). Dále pro oblast krizového managementu (povodně – Langhammer, ed. 2007; Langhammer, Vilímek 2008; sucho – Trnka et al. 2017), pro rekultivace a revitalizace (Kodir et al. 2017), pro zemědělství a rozvoj venkova (Kabrda, Jančák 2007; CENIA 2017; Long et al. 2012), lesnický management a ochranu lesů (Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017, např. i tropické lesy – Santos, Meneses, Hostert 2018), ochranu přírody a krajiny a jejích složek (Höchtel, Plieninger, Spek 2016; Kupková et al. 2017) apod. a v důsledku tak pro trvalou udržitelnost krajiny.

Naše výzkumné aktivity v oblasti hodnocení využití krajiny vycházejí kromě výše zmíněných konceptů a mezinárodních výzkumných témat také z kontextu směrů a přístupů, které byly uplatňovány v prostoru bývalého Československa a které jsou rozvíjeny v Česku a na Slovensku i dnes. Průkopnické byly například práce Ivaničky (1972), Žigraie (Žigrai 1977) a další studie zpracované na Ústavu pro ekologii krajiny ČSAV (dnes ÚKE SAV) v Bratislavě, které vnesly širší pohled do klasického pojetí land use v našich podmínkách (Růžička, Růžičková, Žigrai 1978). Hlavní důraz je v těchto pracích kladen na ekologicko-hospodářské dopady využití půdy/krajiny a optimalizaci zemědělské výroby. Vznikla zde metodika krajinněekologického plánování LANDEP (Růžička 1999), která se stala i součástí Agendy 21²⁹ ze summitu Země v Rio de Janeiru v roce 1992.

Na Slovensku je například právě v ÚKE SAV i v návaznosti na LANDEP rozvíjeno několik směrů zaměřených na hodnocení změn zemědělské krajiny i pod vlivem EU, klimatickou změnu, ekosystémový a socioekologický výzkum či mapování vývoje land use v Evropě (Halada et al. 2008; Halada et al. 2017; Bezák, Halada 2010; Boltižiar, Olah 2013; Lieskovsky et al. 2018). Dlouhodobě se výzkumu změn krajiny na Slovensku věnuje tým Geografického ústavu SAV v Bratislavě pod vedením J. Ferance. Převážně s využitím dat Corine Land Cover hodnotí vývoj LU a LC nejen na Slovensku, ale i v dalších státech a městech Evropy a zabývají se i metodickými otázkami (Feranec et al. 2001, 2002, 2014, 2017; Kopecká 2006; Pazúr et al. 2017).

29 https://cs.wikipedia.org/wiki/Agenda_21

Výzkumu typů prostorových struktur zemědělského využití ploch se na Slovensku, konkrétně na katedře humánní geografie Přírodovědecké fakulty Univerzity Komenského v Bratislavě, věnovali Hurbánek, Spišiak (2005); Hurbánek (2005). Specifické postavení má potom komplexní dílo širokého kolektivu autorů pod vedením L. Miklóse – Atlas krajiny Slovenskej republiky³⁰ (Miklós, ed. 2002).

Mnoho výzkumných týmů z různých univerzit a dalších výzkumných institucí se věnuje hodnocení změn krajiny také v Česku. Bez nároku na úplnost považuji za důležité zmínit některé směry, které mají blízko k našim výzkumným aktivitám. Teoretická a aplikovaná nauka o krajině, hodnocení postindustriální krajiny, využití technologií GIS a DPZ v krajinném výzkumu a v plánovací praxi se objevuje ve výzkumu autorů katedry geografie Pedagogické fakulty Masarykovy univerzity v Brně ve spojení s kolegy z jiných pracovišť, například katedry geoinformatiky VŠB TU Ostrava nebo UP Olomouc, katedry geoinformatiky (Kolejka, Klimánek 2015; Svatoňová, Kolejka 2017; Kolejka, Rapant et al. 2015; Krejčí et al. 2018). Široký záběr zahrnující například výzkum dlouhodobého využití krajiny v Česku na základě starých topografických map a leteckých snímků, ekologické sítě, ekosystémové služby, budoucí vývoj krajiny ve vztahu k biodiverzitě a klimatickým změnám mají výzkumy prováděné v brněnské pobočce Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Odboru krajinné ekologie (Demek et al. 2008, 2012; Skokanová, Havlíček 2010; Mackovčín, Demek, Slavík 2012; Skokanová et al. 2012; Trnka et al. 2012). Toto pracoviště také koordinovalo vydání významného díla – Atlasu krajiny České republiky³¹, na němž se podílelo mnoho pracovišť z celé republiky a k jehož vydání přispěl řadou mapových výstupů i náš výzkumný tým³² (Hrnčiarová, Mackovčín, Zvara et al. 2009).

Land use a jeho změny se staly relevantními v souvislosti s odsunem německého obyvatelstva nebo s tématy, jako jsou regionalizace a typologie, krajinné metriky a paměť krajiny jako součást regionální identity. Těmto tématům věnují pozornost například na katedře geografie PŘF UJEP v Ústí nad Labem (Balej et al. 2010; Balej 2011; Balej, Anděl 2011; Balej et al. 2012 a další). Relevantní je též hodnocení validity historických mapových podkladů (Forejt, Dolejš, Raška 2018). Výsledky výzkumů krajinných změn se dnes využívají v oblastech krajinného managementu, plánování, udržitelného využívání půdy a dynamického land use, hodnocení krajinného rázu apod. V těchto oblastech jsou aktivní výzkumné týmy Fakulty životního prostředí ČZU Land Research Group (pod vedením P. Skleničky) a Spatial Science in Ecology and Environment (ten vede P. Šímová) – viz Sklenička et al. (2014); Sklenička (2016); Sklenička et al. (2017a, b); Šímová, Gdulová (2012); Skaloš et al. (2012); Trpáková (2009); Trpáková, Trpák (2009). Za zmínku stojí také výzkumné aktivity na dalších pracovištích, jako je Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity, katedra fyzické geografie a geoekologie – například výzkum změn využití krajiny Ostravsko-karvinské oblasti (Popelková, Mulková 2018) nebo případové regionální studie z oblasti land use řešené na Západočeské univerzitě v Plzni (Novotná 2000; Kopp, Novotná 2008).

30 <https://fns.uniba.sk/pracoviska/geograficka-sekcia/kfg/archivynakfg/atlas-krajiny-slovenskej-republiky-2002-elektronicky/>

31 https://www.mzp.cz/cz/atlas_krajiny_cr

32 <http://web.natur.cuni.cz/ksgrrek/lucc/>

Několik směrů základního výzkumu krajinných změn (s nezanedbatelným potenciálem v oblasti aplikací) se rozvíjí i na mém domovském pracovišti PřF UK v Praze. Jedná se například o výzkum v oblasti krajinné ekologie – krajinně-ekologické a ekosystémové přístupy (Lipský 1994, 1996, 1999; Lipský, Kvapil 1998; Lipský, Kopecký, Kvapil 1999; Chuman, Romportl 2010; Chuman et al. 2013), botaniky – opouštění půdy včetně konsekvencí (Kopecký, Vojta 2009; Kovář et al. 2014), sledování vlivů změn krajiny v oblasti hydrologického a protipovodňového výzkumu (Langhammer, Vilímek 2008; Královec, Kliment, Matoušková 2016), využití krajiny pro účely rekreace (Fialová, Vágner 2014), či vývoj a dopady suburbanizace (Sýkora, Ouředníček 2007; Kupková, Ouředníček 2013) nebo sociální metabolismus (Kušková 2008; Grešlová et al. 2015), periferie, marginální regiony, regionální identita (Chromý 2003; Chromý, Jančák, Winklerová 2003; Chromý, Rašín 2006; Kučera Chromý 2012), regionalizace, typizace a hierarchizace (Hampel 1998, 2001, 2005).

První část věnovaná v habilitační práci mému vlastnímu výzkumu (kapitola 3.1) do značné míry vychází z přístupů k hodnocení vývoje využití krajiny rozvíjených na PřF UK již téměř 40 let výzkumným týmem LUCC Czechia pod vedením I. Bičíka³³ a využívá unikátní datový zdroj – prostorovou databázi LUCC Czechia (2019). Ta je postavená na bilančních datech katastrální evidence v úrovni tzv. stabilních územních jednotek (více viz kapitola 3.1). Databáze dokladuje proměny české kulturní krajiny v dlouhém časovém horizontu 165 let, od cca poloviny 19. století. Data pro roky 1845, 1896, 1948, 1990, 2000 a 2010 odpovídají milníkům moderní české historie, které nastartovaly společenské změny, jež se následně odrazily ve změnách využití krajiny. Výhodou databáze ve srovnání s dalšími dostupnými datovými zdroji, které jsou pro hodnocení LUCC využitelné a na něž je mezinárodní odborná komunita odkázána (především data DPZ), je zejména pokrytí dlouhého časového období (rozdělené na 6 časových horizontů). Cílem výzkumů založených na této databázi bylo analyzovat dlouhodobý vývoj krajinných změn různých struktur v různých geografických měřítcích, odhalit trendy změn, k nimž v dílčích etapách docházelo, identifikovat, interpretovat a pochopit jejich příčiny (politické, socioekonomické, kulturní a další) a důsledky, zabývat se syntézou výsledků a hledáním obecně platných zákonitostí a interpretací ve smyslu nomotetického přístupu, odhalením mechanismů, které mohou ovlivnit budoucí vývoj i praktickými aplikacemi a metodickými otázkami³⁴.

Přístup výzkumného týmu LUCC Czechia na PřF UK k problematice hodnocení změn využití krajiny vychází z obecných výše popsaných principů geografické analýzy prostoru/krajiny. Nestojí pouze na analýzách zmíněné databáze LUCC Czechia (které se v jistém smyslu jeví dnes již jako překonané), ale kombinuje mnohé datové zdroje a metody hodnocení

33 <http://web.natur.cuni.cz/ksgrrek/lucc/>

34 Viz studie dokladující směry a výsledky našeho výzkumu – ať již shrnujících: monografie (Bičík et al. 2010, Bičík et al., eds. 2015), atlasové výstupy (Bičík et al., eds., 2012; Bičík et al., eds., 2015; Kupková, Himiyama, eds. 2018), nebo studie věnované výzkumu zájmových území (Štych 2010; Bičík et al., eds. 2012), pohraničí (Štěpánek 1992; Bičík, Kabrda 2007; Rašín, Chromý 2010; Kupková, Bičík, Najman 2013), suburbanizaci (Štych, Míček, Kříž 2015; Kupková, Ouředníček 2013), zemědělství a využití krajiny (Jeleček 1985; Bičík, Jančák 2005; Bičík, Kupková, Kabrda 2015), hybným silám změn krajiny (Bičík, Jeleček, Štěpánek 2001; Jeleček 1995; Bičík et al. 2015) nebo vývoji krajiny v transformačním období po roce 1990 (Bičík, Jančák 2005; Janáč, Jeleček, Chromý 2010; Kupková, Bičík 2016) a další.

různých disciplín (široká škála dat a metod popsaných výše – staré mapy, terénní mapování, různé typy prostorových databází, geoinformační metody, sociálně-geografické přístupy – Bičík et al. 2015). Využívá kvantitativní a kvalitativní metody, primární a sekundární datové zdroje (Bičík et al. 2010, Bičík et al. 2015). Zároveň byla hodnocení prováděna v několika řádově-měřítkových úrovních (od zájmových území typu katastru až k úrovni celé republiky a přeshraničních oblastí), a to v územích na různém stupni geografické exponovanosti (Hampl 1998) ve smyslu gradientu jádro-periferie (město, suburbánní prostor, venkovská krajina, pohraničí atd., viz např. Chromý, Jančák, Winklerová 2003; Kupková, Ouředníček 2013), a též v několika časových horizontech. V tomto smyslu lze náš výzkumný přístup označit za dynamický či historický land use / land cover, který je jedním z důležitých nástrojů monitoringu globálních environmentálních změn (Jeleček 2007)³⁵.

Změny krajiny v různých měřítkových úrovních a typech území jsou, jak bylo uvedeno výše, výsledkem působení/uplatnění rozličných přírodních a společenských hybných sil. Dokumentují nejen působení vnějších rámců, ale i vnitřních podmínek proměn prostředí (Hampl 2000). Mj. proto musí být nazírány, interpretovány a chápány nejen v kontextu jednotlivých etap vývoje společnosti (obecného společenského vývoje), ale i s ohledem na příslušné/relevantní časoprostorové kontexty. Jde jak o uplatnění/projevy obecných vývojových procesů (např. koncentrace obyvatelstva, funkcí, kapitálu ad., industrializace, urbanizace – industriální či postindustriální transformace), tak specifických (časově i prostorově omezených) procesů (např. vysídlení a nedostatečné dosídlení území, suburbanizace, posttotalitní transformace, proces integrace do nadnárodních struktur atd.). Je proto logické, že s ohledem na výše uvedené výzkum změn krajiny, realizovaný na bázi hodnocení dlouhodobých změn využití půdy a krajinného pokryvu v Česku v posledních třech dekadách, významně přispívá k problémově orientovanému bádání přírodních, společenských i humanitních věd. Společenské změny po pádu komunistického režimu v roce 1989 zapříčinily i proměny paradigmat a předmětové orientace geografických výzkumů v sociální a kulturní geografii (Hampl 2000; Hampl, Dostál, Drbohlav 2007). Hodnocení krajinných změn je neodmyslitelnou součástí výzkumů problémových oblastí (pohraničí, periferie, suburbánní zóny, LFA ad.), ale i výzkumů v regionální či kulturní geografii. Před vědci vyvstaly nové otázky, které se týkají nejen míry/intenzity a dynamiky změn, ale i „zákonitosti“ a „nahodilosti“ změn a jejich vysvětlení, pochopení mechanismů změn. Dokladem výše uvedeného je i propojení výzkumů změn krajiny s výzkumy realizovanými na poli historické, kulturní a regionální geografie, jakož i výzkumy v oblasti urbánní a rurální geografie, ekonomické geografie, zemědělství, geografii sídel a osídlení atd. – viz výše zmíněné navazující výzkumné směry na PřF UK v Praze.

Lze konstatovat, že výzkum týmu Lucca Czechia jistým dílem přispívá k integraci, generalizaci a komplexní syntéze, která by v oblasti analýzy land use / land cover měla pokračovat, a – jak uvádí Herold et al. (2016), je závislá na moderních přístupech, jako jsou kvantifikace změn LU a LC až na globální úrovni, datová fúze, zdokonalování a propojování klasifikačních systémů vedoucí k širšímu a hustšímu časovému pokrytí, nezávislá validace včetně širšího

.....

35 Tento výzkum úzce navazuje na výzkum historicko-geografický a v posledním desetiletí jsme na něm v rámci společného Výzkumného centra historické geografie úzce spolupracovali s Historickým ústavem AV ČR (viz např. komplexní týmové dílo Semotanová, Cajthaml et al. 2015).

sběru validačních dat (například využití metod crowd sourcingu), další rozvoj a inovace technologií (např. DPZ – viz kapitola 2.3), širší aplikační záběr a rozšíření sítě odběratelů výsledků, zlepšování infrastruktury a širší využitelnost velkých dat (big data) a dalších druhů dat nebo operační mapování (například v rámci projektu Copernicus).

2.3 Monitoring stavu a změn horských ekosystémů z obrazových dat DPZ – předmět výzkumu a teoreticko-metodologické přístupy

Změny ve využití krajiny, které byly představeny v předchozí kapitole, jsou jedním z významných faktorů, které ohrožují horské ekosystémy (Cernusca et al. 1996; Tasser, Tappeiner, Cernusca 2005; Niedrist, Tasser, Lüth et al. 2009). Jsou totiž často jednou z podstatných příčin dalších jevů, jako je globální klimatická změna (zvýšení teploty, změny srážkové činnosti), antropogenní depozice sloučenin dusíku, zvyšující se koncentrace CO₂ v ovzduší a v důsledku pak změny v rozšíření druhů a společenstev a záměny druhů (expanze druhů nepůvodních) – viz např. Zeidler, Banaš (2013); Tasser, Tappeiner, Cernusca (2005); Solar (2013). Zmíněné vlivy můžeme označit za nepřímé a na rozdíl od přímých vlivů (např. mechanická disturbance, vliv stavebních aktivit, turistických aktivit apod.) se projevují na regionální, kontinentální až globální úrovni a ohrožují nejen lesy, ale veškeré přírodní ekosystémy (Tylianakis et al. 2008; Zeidler, Banaš 2013).

Ve střední Evropě, která je oblastí zájmu našeho výzkumu, jsou nepřímé vlivy společnosti patrné ve všech ekosystémech včetně nejvyšších pohoří. Horské ekosystémy přitom patří k cenným územím – například vzhledem k velkému zastoupení vzácných, ohrožených a endemických druhů a celkově vysoké biodiverzitě, výskytu polopřirozených ekosystémů v různých sukcesních stádiích, jsou centry přírodního i kulturního dědictví. Přestože jsou dnes často pod přísnou ochranou, jejich ohrožení zejména v důsledku zmíněných nepřímých vlivů, neustále narůstá. Mezi nejvíce ohrožené oblasti patří alpské prostředí našich vysokých Sudet³⁶, zejména oblasti alpského bezlesí, které jsou reliktním pozůstatkem z období zalednění. Tyto oblasti mají většinou malou rozlohu a tvoří izolované biogeografické ostrovy (viz teorie ostrovní biogeografie – MacArthur, Wilson 1967), které se i v důsledku klimatické změny neustále zmenšují s posunem hranice lesa do vyšší nadmořské výšky. Problematické zde navíc byly některé managementové zásahy v minulosti, zejména vysazování kosodřeviny (od poloviny 19. století až téměř do 90. let 20. století – Zeidler, Banaš 2013; Štursa, Wild 2014) a její pozdější šíření (více o problematice alpského bezlesí – krkonošské reliktní arкто-alpínské tundry viz kapitola 3.2).

Pokud se týká ohrožení horských oblastí střední Evropy a Česka nepřímým vlivem antropogenního kyselého znečištění, tak jedním z hotspotů je tzv. Černý trojúhelník, oblast na hranicích Česka (zejména Krušné hory), Polska a bývalé NDR. V této oblasti docházelo postupně již od první poloviny 20. století k imisnímu poškozování lesních porostů (Ardö 1998; Šrámek et al. 2015a). Důlní a průmyslová činnost v této oblasti měla velmi negativní vliv na životní prostředí zejména v období tzv. socialismu v Československu v důsledku masivní industrializace (těžební činnosti a výroby energie v tepelných elektrárnách s využitím technologií poškozujících životní prostředí ad.) bez ohledu na environmentální dopady zastaralých technologií. Zásadní byl dálkový přenos imisí SO₂ (vysoké komíny) nejen z domácích zdrojů, ale i z tehdejší NDR (lokalita Schwarze Pumpe) – viz Šrámek et al. (2015a). Ekologická katastrofa vyjádřená zejména velkoplošným odumíráním lesních porostů tvořených převážně smrkem

36 V botanickém pojetí této oblasti.

ztepilým (*Picea abies* L. Karst.), kulminovala přibližně v období 1978–1987, kdy byly severní části Krušných hor zcela odlesněny (Šrámek et al. 2015b). Odsíření zdrojů znečištění v první polovině 90. let vedlo k významnému útlumu imisní zátěže. Velkoplošné poškození lesních porostů bylo pozorováno ještě v 90. letech, a to i v důsledku nepříznivých klimatických epizod (epizody teplotní inverze v zimních měsících například na přelomu let 1995 a 1996), kdy došlo opět k výraznějšímu poškození lesa (Šrámek et al. 2015a). Přestože v současnosti je imisní situace (oxidy síry a dusíku) příznivější, stále přetrvávají některé negativní faktory (např. imise přízemního ozónu, acidifikace půd, hrozba nepříznivých klimatických situací, vliv škůdců³⁷), které dosud brání úplnému zotavení lesů v Krušných horách (Šrámek et al. 2015a, b) – viz i kapitola 3.2.

Z výše uvedeného je zřejmé, že monitoring vzácných, resp. ohrožených horských ekosystémů – alpinského bezlesí i lesních porostů v Krušných horách – je nanejvýš žádoucí a je nutnou cestou jejich ochrany a trvalé udržitelnosti. Svědčí o tom i mezinárodní programy zaměřené na výzkum těchto ekosystémů (např. programy ITEX, GLORIA nebo REED+³⁸ a další).

V době, kdy jsou relativně dobře dostupné různé datové zdroje DPZ i nástroje na jejich zpracování a analýzu, je DPZ nejen alternativou nebo doplňkovou metodou, ale dnes již spíše hlavním zdrojem informací pro účely tohoto monitoringu (viz např. speciální číslo časopisu *Remote Sensing*³⁹). Výhodou DPZ je v případě monitoringu velkoplošných území možnost získat (i volně) dostupné datové podklady prakticky v jednom okamžiku pro celé území, a navíc opakovaně s velmi krátkou periodou (teoreticky třeba již cca 5 dní), objektivnost a opakovatelnost výzkumu a relativně nízké náklady. Zřejmou nevýhodou je naopak zejména omezení technologií postavených na optických datech DPZ v době špatného počasí (oblačnost), což je na horách častá situace. Reálně tak můžeme pro tato území z jednoho zdroje (satelitního senzoru) získat třeba jen jednotky použitelných snímků v průběhu sezóny. Jako další omezení, která jsou však zdokonalováním technologií a jejich širším zpřístupněním omezována, lze zmínit určitou míru nepřesnosti používaných metod analýzy dat, nutnost datových korekcí (viz kapitola 2.1) a například i neznalost technologií v praxi (Štych et al. 2012b).

Předmětem našeho výzkumu je v případě horských ekosystémů (reliktní krkonošská arкто-alpínská tundra a lesní ekosystémy Krušných hor) výše definovaný pokryv krajiny (land cover – LC – kapitola 2.2), resp. jeho vybrané kategorie (jejich rozmístění v prostoru), případně jeho změny poukazující na stav daného území/ekosystému. Obecné přístupy předzpracování a analýzy primárních dat DPZ už byly zmíněny v kapitole 2.1. Naše konkrétní přístupy vycházejí z využití multispektrálních a hyperspektrálních obrazových dat DPZ v tzv. odrazové části elektromagnetického spektra. Ta, například dle Zemka et al. (2014), zahrnuje viditelnou (VIS, 400–720 nm), blízkou infračervenou (NIR – near infrared, 720–1 400 nm) a střední

37 Např. kloubnatka smrková – *Gemmamyces piceae*.

38 Programy jako např. mezinárodní výzkumná síť, která sleduje vliv globálního oteplování na ekosystémy tundry – International Tundra Experiment (ITEX), nebo program zaměřený na studium a ochranu světových horských ekosystémů – Global Observation Research Initiative in Alpine Ecosystems (GLORIA) či významná globální iniciativa FAO zaměřená na podporu rozvojových zemí v boji s odlesňováním a globální změnou s názvem Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation – REED+.

39 https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/mountain_rs

infračervenou (SWIR – short-wavelength infrared, 1 400–3 000 nm) část spektra. Po aplikaci příslušných korekcí jsme data analyzovali s využitím dvou odlišných přístupů kvantitativní analýzy v závislosti na cíli hodnocení. Přístupy jsou popsány v následujících odstavcích.

V prvním případě šlo o testování široké škály dat s různým spektrálním (multispektrální a hyperspektrální data) a prostorovým rozlišením (několik cm až 30 m) a metod (klasifikátorů – viz kapitola 3.2) DPZ v jednom časovém horizontu s cílem dosáhnout co nejpřesnějšího výsledku klasifikace, tedy rozlišení sledovaných kategorií v prostoru. Byly využity metody řízené klasifikace obrazu doprovázené terénním sběrem trénovacích a validačních dat a pro hyperspektrální obrazová data pak některé metody typické pro obrazovou spektroskopii⁴⁰ jako například metoda transformace dat *Maximum Noise Fraction* (MNF – Chang 2013) – více viz kapitola 3.2. Výstupem tohoto typu analýzy je pak podrobná mapa land cover daného území v jednom časovém horizontu (může sloužit jako vstup pro dlouhodobější monitoring) a z hlediska metodického návrh optimálního algoritmu, který vede k nejpřesnějšímu výsledku (kombinace vhodného datového zdroje a metod jeho analýzy). Tento přístup je v DPZ široce využíván (Benediktsson, Swain, Ersoy 1990; Zhou, Yang 2008; Mountrakis, Im, Ogole 2011; Moody et al. 2014). Dílčí metodické problémy, jako je terénní sběr dat a tvorba legendy, hodnocení přesnosti klasifikací apod., jsou řešeny v kapitole 3.2.

Ve druhém případě jde z hlediska metodického přístupu naopak o využití jednoho typu dat (multispektrální data) v časové řadě a určení změn v rozloze a rozmístění kategorií LC, které v území nastaly – tzv. *change detection* (viz kapitola 2.1), případně o využití jednoduchých kvantitativních parametrů derivovaných z dat DPZ k popisu stavu (míry poškození – *disturbance*) daného typu land cover a jeho vývoje v čase. Přístupů *change detection* je široká škála – viz například Hussain et al. 2013; Jamali 2015; Tewkesbury 2015; Gómez, White, Wulder 2016). Specifikace konkrétních metod, které jsme využili, je v kapitole 3.2.

Pro oba výše zmíněné přístupy je zásadním předpokladem dostupnost datových zdrojů. V prvním případě soubor různých typů dat ze stejného období s rozdílným prostorovým a spektrálním rozlišením. Ve druhém případě je důležité časové rozlišení – aby data pokrývala dlouhé období, případně s dostatečnou časovou hustotou vegetační sezónu. Dnes jsou dostupné jak delší časové řady dat (omezené na několik typů dat), tak pro současnost široká škála dat různého rozlišení. Existují i nástroje, které umožní jejich zpracování. Technologie DPZ však prošly dlouhým vývojem a považují za důležité zmínit některé milníky, které dnešnímu stavu předcházely a jsou podstatné z hlediska výzkumu změn krajiny a horských ekosystémů, zejména v evropském prostoru.

Historie DPZ se začala odvíjet už v podstatě s objevem fotografie v roce 1839, a historická data jsou uchována zejména díky rozsáhlým archivům (např. archivu United State Geological Survey – USGS⁴¹). Za milníky moderní historie DPZ lze považovat jednak rozvoj leteckého snímání pro civilní účely v období 20.–30. let 20. století (plošné letecké snímání, využití snímků v lesnictví a zemědělství, využití infračervené fotografie – Dobrovolný 1998; Zemek et al. 2014) a poté počátek kosmického snímání. Historie kosmického snímání Země se

.....

40 Disciplína zabývající se zkoumáním spektrálních vlastností zemského povrchu prostřednictvím spekter elektromagnetického záření odvozených z obrazových, zejména hyperspektrálních dat – Chang (2013).

41 <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat>

začala odvíjet na konci 50. let (start Sputniku-1 v roce 1956, 1958 – první fotografie zemského povrchu z družice EXPLORER VI). V období od roku 1960 do roku 1972 vznikají první použitelné systémy meteorologických družic (1960 – meteorologická družice TIROS I), rozvíjí se fotoprůzkumné družice a multispektrální systémy. Od roku 1972 začíná digitální dálkový průzkum Země a od 80. let se rozvíjí digitální fotogrammetrie (Dobrovolný 1998; Gisat 2019a). Pro výzkum přírodních zdrojů a sledování krajiny a jejích změn přichází zásadní okamžik právě v roce 1972, kdy družice ERTS (Earth Resources Technology Satellites – později označovaná jako Landsat I) v rámci projektu NASA vynáší na oběžnou dráhu první skener systému Landsat (MSS – Multispectral Scanner System). Od roku 1972 do roku 2013 bylo pak vypuštěno v rámci mise Landsat celkem 8 satelitů, z nichž je stále funkční pouze Landsat 7 (funkční pouze částečně, skener ETM+) a nejnovější Landsat 8 (skenery TIRS a OLI). Tento systém poskytuje časovou řadu dat (od roku 2008 volně dostupnou), která již pokrývá 46 let a lze ho považovat i vzhledem k parametrům dat za nejcennější a nejvyužívanější (Zhu 2017) zdroj pro dlouhodobé sledování změny životního prostředí a krajiny nejen v evropském, ale v globálním měřítku. Uvolnění dat těchto parametrů k volnému užívání otevřelo nové možnosti v oblasti dálkového sledování Země a bylo zlomovým bodem pro akceleraci využívání dat a metod DPZ zejména v geografických disciplínách.

Velký význam pro monitoring změn krajiny na evropském kontinentu mělo v roce 1986 zahájení francouzské mise SPOT (družice SPOT 1 vynesena raketou Ariane). I mise SPOT, kterou Francie (společnost Spotimage a její partneři) realizuje ve spolupráci s Evropskou kosmickou agenturou (ESA) a od roku 2012 s Indickou kosmickou agenturou, má již na svém kontě 7 satelitů, z nichž funkční jsou SPOT 5, 6 a 7. Parametry skenerů družic SPOT v některých ohledech předčily parametry systému Landsat, a pro větší měřítko se tak systém SPOT řadí mezi nadčasové technologie pozorování Země, například v oblasti sledování lesů (Skidmore, Turner 1988; Holmgren, Thuresson 1998). Za zmínku stojí také aktivity ESA vedoucí k rozvoji monitoringu s využitím pokročilých radarových systémů vypuštění družice ERS-1 v roce 1991 a ERS-2 v roce 1995 (Bryan 1983; Wu, Sader 1987) a zejména pak v poslední době realizované mise Sentinel-1 (A – v roce 2014 a B – v roce 2016).

Právě evropská mise družic systému Sentinel je dalším zlomem z hlediska dostupnosti dat DPZ. Tento systém⁴² je jádrem evropského monitorovacího programu EU s názvem Copernicus⁴³. V rámci programu Copernicus je garantován plný a otevřený přístup k datům a informacím. Od roku 2014 již bylo na oběžnou dráhu vypuštěno 7 družic Sentinel, z nichž pro pozorování terestrických ekosystémů jsou kromě zmíněných radarových systémů využitelné především optické družice S2-A, B (ESA 2019), které využíváme jako jeden ze základních datových vstupů i my. Společnou přelomovou iniciativou ESA, NASA a USGS, která posunuje

42 Včetně pozemního segmentu, in situ segmentu a příspěvatelských misí – např. SPOT, ENVISAT, ERS a dalších – viz <http://copernicus.gov.cz/prispevatelske-mise>.

43 Program Copernicus koordinuje a spravuje Evropská komise ve spolupráci s ESA. Dle ESA (2016) je Copernicus (dříve GMES) evropský program pro monitorování životního prostředí a bezpečnosti, jehož cílem je poskytování včasných a přesných informací pro podporu rozhodování v této oblasti. Copernicus zajišťuje vlastní evropskou kapacitu pro pozorování Země a je považován za evropský příspěvek programu GEOSS (<http://www.earthobservations.org/index.php>).

využitelnost dat DPZ jak časově, tak z hlediska prostorového rozlišení, je v návaznosti na Copernicus a také na NASA systém pozorování Země EOS (Earth Observation System; NASA 2017) projekt tzv. harmonizace dat Landsat a Sentinel-2 (Claverie et al. 2018), který přináší kalibrovaný atmosféricky korigovaný bežešvý produkt dat tzv. surface reflectance s prostorovým rozlišením 30 m a časovým rozlišením pod 5 dní⁴⁴.

Ve výčtu pokroků přinášejících zdokonalení datových vstupů a metodických přístupů v DPZ je nutné ještě zmínit příspěvek soukromého sektoru i proto, že komerční data (QuickBird, WorldView-2) byla využita v této práci. Soukromý sektor začal do DPZ významněji pronikat přibližně od konce 90. let 20. století (první soukromý satelit OrbView-1 vypuštěn 1995). První terestrická soukromá družice IKONOS společnosti DigitalGlobe létá na oběžné dráze Země od roku 1999. Od té doby se společnost DigitalGlobe stala významným subjektem na poli komečního DPZ a realizovala několik dalších satelitních misí (WorldView, QuickBird, GeoEye). Vedle ní se uplatňují i další komerční společnosti - například GeoEye (USA), Sat-Industry (Velká Británie), SkyBox (USA) - a soukromých družic, které mají většinou velmi vysoké prostorové a často i spektrální rozlišení, je již celá řada (Gisat 2019b).

Z pohledu časového rozlišení dosud nejvyšší úroveň dálkového snímání přináší právě soukromá společnost Planet Labs⁴⁵, která začínala jako start-up v San Franciscu v roce 2010. Společnost nyní disponuje více než dvěma stovkami malých nízkonákladových družic Dove (PlanetScope), jejichž systém je od roku 2017 schopen nasnímat celou Zemi (pevninu) každý den. Velkou výhodou pro akademickou sféru je, že data těchto družic může volně využívat. Společnost PlanetLabs chce nyní zapracovat svá data do celosvětového vyhledávacího systému a s pomocí metod strojového učení extrémně zvýšit využitelnost a množství aplikací snímání Země prakticky v reálném čase (např. prostorové dotazování v reálném čase či predikce na základě časové řady⁴⁶) - viz Bylor (2019).

K perspektivním technologiím monitoringu krajiny (včetně horských ekosystémů) patří platforma RPAS (viz již kapitola 2.1). RPAS mohou nést různé typy snímacích zařízení (multi-spektrální, hyperspektrální či termální kamery, ale i třeba LiDAR). Jejich velkou výhodou je operativnost pořizování dat (možnost snímat mnohokrát za sezónu, prakticky kdykoliv, jakmile je vhodné počasí) se špičkovými parametry, pokud se týká prostorového (řád cm) a spektrálního (stovky pásem) rozlišení - Anderson, Gaston (2013); Miřijovský, Pechanec, Burian (2012); Šedina, Pavelka, Raeva (2017).

Další posun v oblasti DPZ přinesly senzory, které umožňují hyperspektrální snímání - tzv. spektrometri⁴⁷ a pro hodnocení krajiny a jejich prvků přinášejí možnost získávat data (kvantitativní) o stavu/kvalitě objektů, tedy například i vegetace, na zemském povrchu. Tyto senzory umožňující pořizování laboratorních nebo obrazových hyperspektrálních dat jsou v několika případech nesené družicemi (např. senzor Hyperion). Většinou jsou to ale senzory

44 Tento produkt je důležitý zejména z hlediska časového rozlišení, protože umožňuje sledovat změny na zemském povrchu v tzv. husté časové řadě, a tím zdokonalit přístup change detection, který je využit i v této práci.

45 <https://www.planet.com/>

46 <https://gisgeography.com/100-earth-remote-sensing-applications-uses/>

47 Vývoj již od 80. let - NASA Jet Propulsion laboratory Pasadena (Dobrovolný 1998).

letecké (např. senzor APEX, AISA-DUAL, HyMap), které vlastní soukromé společnosti nebo i některé výzkumné organizace⁴⁸. Stále častěji se tato technologie využívá ve verzi pro RPAS. Slibnou perspektivu nabízejí také již dlouho plánované a odkládané mise nízkonákladových satelitních hyperspektrálních senzorů (EnMap, PRISMA, FLEX-VIS, HypSIRI a další) soukromých subjektů (DLR) i vesmírných agentur (např. ESA, NASA, italská vesmírná agentura ASI) (Pu 2017). O technologii obrazové a laboratorní spektroskopie více viz kapitola 2.4.

Současný stav poznání a datová základna umožnily rozvoj využívání DPZ pro hodnocení krajiny a jejich změn prakticky na celém světě. Vědecká komunita a množství institucí a organizací, které se zabývají hodnocením využití a změn krajiny, je velmi široké a není naší ambicí ani v možnostech této práce podrobněji se věnovat výčtu jednotlivých směrů, metod a škol. Zmíním pouze ty, které mají blízko k našemu tématu (metodicky, využitím podobných zdrojů dat) nebo s nimiž jsme byli v těsnější spolupráci. V rámci evropského prostoru je nutné s ohledem na spolupráci i tematické propojení zmínit výzkumný tým Varšavské univerzity v Polsku pod vedením B. Zagajewského, který společně se svými kolegy již delší dobu rozvíjí zejména přístupy mapování vegetace horských oblastí včetně alpských s využitím multispektrálních a hyperspektrálních dat (Zagajewski 2010; Zagajewski et al. 2017; Marcinkowska-Ochtyra et al. 2017, 2018; Kycko et al. 2018; Raczko et al. 2017; Kupková et al. 2017). Tematicky a metodicky se našemu výzkumu blíží práce slovenských kolegů z Ústavu krajinné ekologie SAV v Nitře zaměřené na vegetaci horských ekosystémů na Slovensku (např. Halada et al. 2008, 2017; Halabuk et al. 2013, 2016). Výborné technické zázemí i znalostní základna a metodická vyspělost jsou typické pro týmy z institucí a univerzit, které se DPZ věnují v Německu. Spolupráci jsme navázali s týmem laboratoře geoinformatiky na fakultě matematiky a přírodních věd Humboldtovy univerzity v Berlíně⁴⁹ pod vedením P. Hosterta.⁵⁰ Významnou úlohu v evropském DPZ má v posledním desetiletí mezinárodní vědecká skupina zaměřená na výzkum LU a LC států tzv. karpatského ekoregionu („Carpathians“)⁵¹. Síť vybudovaná v rámci projektu je velmi aktivní i v současnosti a publikovala velké množství výstupů zaměřených mj. právě na horské a lesní ekosystémy na území států karpatského ekoregionu (Knorn et al. 2013; Griffiths et al. 2014; Butsic et al. 2017 a další). Důraz tato síť klade i na studium hybných sil a faktorů změn využití krajiny (Munteanu et al. 2014, 2017). Zmíněný program NASA Land-Cover/Land-Use Change (LCLUC) vedený G. Gutmanem lze označit za jednu z nejdůležitějších mezinárodních iniciativ

48 Czech Globe – <http://www.czechglobe.cz/en/>, Vito – <https://remotesensing.vito.be/hubspot-topics/apex>

49 <https://www.geographie.hu-berlin.de/en/professorships/geomatics>

50 Tento tým, s nímž jsme nedávno navázali spolupráci, se ve svém širokém záběru věnuje také horským a převážně lesním ekosystémům v Evropě a jejich vývoji a ohrožení (Kuemmerle et al. 2011; Knorn et al. 2013; Griffiths, Hostert 2015; Senf et al. 2017; Senf, Seidl, Hostert 2017; Senf, Seidl 2018), ale i ohroženým lesním ekosystémům v jiných částech světa (zejména v Amazonii – Müller, Griffiths, Hostert 2016; Griffiths, Jakimow, Hostert 2018, nebo také v Kambodži – Grogan et al. 2018).

51 Konkrétně jde o mezinárodní konsorcium států zapojených do projektu „200 Years of Land Use and Land Cover Changes and their Driving Forces in the Carpathian Basin in Central Europe“ pod vedením V. Radelloffa z University of Wisconsin-Madison podpořeného v letech 2011-2014 programem NASA Land-Cover/Land-Use Change (LCLUC). Na tomto projektu spolupracoval již zmíněný tým HU Berlína a několik dalších institucí a univerzit z Evropy i USA (<http://lcluc.umd.edu/projects/200-years-land-use-and-land-cover-changes-and-their-driving-forces-carpathian-basin-central>).

rozvoje DPZ⁵². Od roku 1997 podpořil téměř 280 výzkumných projektů⁵³ na různá témata, jako je úbytek lesů a mokřadů, rozšiřování měst, opuštění půdy, změna ve využití zemědělské půdy a změny v horských oblastech (např. Hansen, Stehman, Potapov 2010; Radeloff et al. 2012; Justice, Gutman, Vadrevu 2015; Butsic et al. 2017) a vybudoval mnoho regionálních sítí zaměřených na interdisciplinární mezinárodní výzkum v uvedených oblastech (Justice, Gutman, Vadrevu 2015). S programem NASA LCLUC jsme propojeni při výzkumu krkonošské tundry v rámci projektu NASA, schématu MuSLI⁵⁴, který vede P. Campbell z University of Maryland. Zároveň s námi spolupracuje i H. Epstein z University of Virginia, který se již dlouhodobě věnuje výzkumu biomu tundry a lesních ekosystémů (Epstein et al. 2012; Tepley et al. 2017; Reichle et al. 2018). Výzkum horských ekosystémů jistě probíhá i v dalších regionech a na dalších kontinentech. Na tomto místě není prostor se jim věnovat blíže, proto pouze odkazujeme na několik převážně souborných studií (Runyan, D’Odorico 2016; Meyfroidt, Lambin 2011; Barr, Sayer 2012; Gizachew, Duguma 2016; He, Long, Xu 2014; Ankersen et al. 2015).

Pokud se týká týmů, přístupů a výzkumného zaměření v oblasti DPZ v Česku, zmíním opět pouze ty tematicky a metodicky nejbližší. Je třeba poznamenat, že rozvoj DPZ v Československu v době komunistického režimu byl omezený a využívány byly zejména letecké snímky, i když s omezenou dostupností z důvodu utajování. S uvolněním bariér po roce 1989 zaznamenaly technologie DPZ rychlý rozvoj a zejména studium zaměřené na lesní ekosystémy v horských oblastech začalo využívat jednak satelitní⁵⁵ a později i RPAS data. Velkou pozornost věnovali ohroženým lesům na Šumavě s využitím dat Landsat na katedře biologie ekosystémů Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (Hais et al. 2016) v některých případech ve spolupráci se členy katedry fyzické geografie PřF UK v Praze pod vedením J. Langhammera (Hais et al. 2008, 2009). Na tento výzkum navázal tým J. Langhammera, který s využitím technologie RPAS sledoval dynamiku lesních disturbancí (Minařík, Langhammer 2016). Technologie RPAS pro výzkum na Šumavě v mezinárodním kolektivu autorů využili i kolegové z Botanického ústavu AV ČR k hodnocení postdisturbačních regenerací lesních porostů – Röder et al. (2018). Práce postavené na dalších typech dat (letecké snímky) vznikly jednak na Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa (Hájek 2008) a dlouhodobě se věnují analýze lesních ekosystémů i v horských oblastech z různých typů dat DPZ v Ústavu pro výzkum globální změny AV ČR (Czech Globe – Brovkina et al. 2017). Některá přírodovědecká a lesnická pracoviště na Moravě a v Čechách se v poslední době spojila při výzkumu predikcí budoucího vývoje lesních porostů pod vlivem klimatické změny – Machar et al. (2017a, b) nebo návrhu a diskuzi systému pro hodnocení zdravotního stavu lesa s využitím metod DPZ (Barka et al. 2018).

Vzhledem k zmíněnému ohrožení Krušných hor byla tomuto pohoří a jeho lesům věnována pozornost ve více publikacích zejména v rámci našeho týmu a jeho spolupracovníků – například

52 <http://lcluc.umd.edu/content/goals-and-background>, <http://lcluc.umd.edu/content/science-lcluc>

53 <http://lcluc.umd.edu/content/projects>

54 <http://lcluc.umd.edu/projects/prototyping-musli-canopy-chlorophyll-content-assessment-vegetation-function-and>

55 Za pionýrské práce DPZ důležité pro studium horských lesních ekosystémů a jejich zdraví můžeme označit práce Stoklasy (1995), Šímy (1995) a Pavelky (1997), které využívaly data Landsat – senzorů MSS a TM.

Lambert et al. (1995); Albrechtová et al. (2001); Campbell et al. (2004); Kopačková et al. (2014, 2015); Mišurec et al. (2016); Kupková et al. (2018), ale i pozornost jiných týmů (Matoušková, Pavelka 2012). Pokud se týká ekosystémů tundry na území naší republiky, tak ty byly dosud s využitím metod DPZ analyzovány v poměrně malé míře (kromě našeho výzkumu – viz kapitola 3.2). Subalpínskou vegetaci Krkonoš z leteckých snímků klasifikovala Müllerová (2005). Král (2009) využil ortofoto s infračerveným pásmem pro klasifikaci vegetačního pokryvu a ekotonu na horní hranici lesa na Pradědu. Trembl et al. (2010) pak hodnotili změnu rozšíření kleče (*Pinus mugo* Turra) také v Hrubém Jeseníku mezi lety 1971 a 2003. Pozitivní v každém případě je, že roste zájem odborníků z praxe o využívání DPZ obecně i pro monitoring horských ekosystémů – například na správách národních parků (KRNAP, NP Šumava a další), ale i v zastřešujících organizacích státní správy (AOPK, ÚHUL, ČÚZK, MŽP, Cenia a další).

K rychlému rozvoji mezinárodního výzkumu v oblasti DPZ přispívají kromě výše zmíněných projektů, kosmických agentur a institucí také oborové organizace jako například International Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ISPRS⁵⁶, European Association of Remote Sensing Laboratories – EARSeL⁵⁷, které sdružují výzkumníky z různých zemí a organizují tematické konference jako důležitou platformu pro setkávání a výměnu zkušeností i navazování kontaktů pro nové sítě.

Přestože pořizování družicových dat DPZ započalo teprve v 60. letech 20. století, je do současnosti nashromážděno obrovské množství dat, která je možné v časových řadách se všemi výhodami dat DPZ využít. Zejména v posledních cca pěti letech množství dat s extrémně vysokým časovým (až řád dnů) a zároveň výborným prostorovým i spektrálním rozlišením velmi narůstá a nabízí nové, dříve netušené možnosti. Běžně používanými se staly pojmy jako „detekce změny“, „hustá časová řada“, „monitorování v reálném čase“ (Banskota et al. 2014; Huang et al. 2010; Xin et al. 2013). Velkou výzvou pro DPZ je nyní umět prakticky využít obrovské objemy datových zdrojů a vznikajících produktů v běžném životě (viz například zmíněné snahy projektu Copernicus nebo soukromých společností typu Planet Lab). Hranice DPZ posunují dále i metody obrazové a laboratorní spektroskopie, jimž je věnována následující kapitola (2.4).

56 <http://www.isprs.org/>

57 <http://earsel.org/>

2.4 Hodnocení stavu vegetace s využitím spektroskopických dat a laboratorních analýz – předmět výzkumu a teoreticko-metodologické přístupy

Tato část práce navazuje na obě předcházející – tematicky širší kapitoly – a objekt zájmu dále zužuje na jednu kategorii krajinného pokryvu – na vegetaci (zejména jehličnaté dřeviny a jejich porosty). Toto zaostření umožňuje hlubší poznání, v němž nezůstáváme na úrovni popisu, co se kde nachází a jak se změnilo rozmístění v prostoru. Naší otázkou je, jaký je stav vegetace a jak daný stav závisí na vnějších faktorech, zejména na antropogenním ovlivnění prostředí. K hlubšímu poznání přispívá i interdisciplinární přístup – na základě spolupráce s ekofyziology rostlin (kolegyněmi z katedry experimentální biologie rostlin PřF UK pod vedením J. Albrechtové⁵⁸) v rámci již zmíněného týmu laboratorní a obrazové spektroskopie na PřF UK⁵⁹ rozšiřujeme spektrum použitých metod. Vedle metod DPZ, konkrétně především laboratorní spektroskopie⁶⁰, využíváme také metody laboratorní biochemické/biofyzikální analýzy vegetace (podrobně např. viz Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017). Pozornost věnujeme především vegetaci poškozených nebo ohrožených ekosystémů výše zmíněných horských oblastí.

Jak bylo uvedeno již v přechodí kapitole (2.3), fyziologický stav dřevin a celkový stav lesů jsou jedněmi z klíčových faktorů v rychlosti probíhající klimatické změny, mohou významně ovlivnit řadu regionálních a celoplanetárních procesů včetně biogeochemických cyklů vody a prvků na Zemi. Zdravotní – neboli přesněji fyziologický – stav vegetace je posuzován na základě přítomnosti symptomů poškození. Za symptom poškození lze označit „jakýkoliv příznak na rostlině/vegetaci, který je výsledkem negativního působení vnějšího faktoru, a o jehož působení také vypovídá (např. odlistění – defoliace, barevné změny listoví, nekrózy apod.)“ – viz ICP Forests (2010), Eichhorn et al. (2010). Symptomy poškození můžeme sledovat pomocí indikátorů (markerů) fyziologického stavu vegetace (poškození vegetace). Pro nás jsou důležité indikátory biochemické (například obsah fotosyntetických pigmentů, fenolických látek, ligninu nebo celulózy) a biofyzikální (zejména obsah vody, případně na úrovni porostu, například index listové plochy nebo podíl fotosynteticky aktivní radiace). Indikátory fyziologického stavu jsou většinou nespecifické. To znamená, že reagují/mění se v závislosti na celé řadě příčin/faktorů a není tedy vždy možné jednoznačně určit konkrétní příčinu změny fyziologického stavu. Ve většině případů nespecifické indikátory vypovídají o reakci vegetace na soubor různých nepříznivých vnějších faktorů (Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017). Jako klasický příklad nespecifického stresového indikátoru lze uvést například změnu v obsahu a poměru fotosyntetických pigmentů (Munne-Bosch, Alegre 2004).

58 KEBR: <http://kfrserver.natur.cuni.cz/>

59 <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/veda-a-vyzkum/vyzkumne-tymy/vyzkumny-tym-laboratorni-a-obrazove-spektroskopie>

60 Obor zabývající se vznikem a vlastnostmi spekter elektromagnetického záření na základě jeho interakce se vzorkem využívá zejména detailní spojitou spektrální křivku hyperspektrálních měření – např. Muttiyah 2002.

Techniky DPZ se již v minulosti ukázaly jako velmi vhodný nástroj k velkoplošnému sledování vegetačního pokryvu a zdravotního stavu vegetace. V Krušných horách byl například na základě analýzy multispektrálních dat senzoru Landsat TM charakterizován proces odumírání lesních porostů během let 1972–1989 (Lambert et al. 1995; Ardo et al. 1997). Avšak multispektrální data nebyla z důvodu nízkého spektrálního rozlišení schopna poskytnout dostatečné informace pro detailnější analýzu fyziologického stavu vegetace a pro detekci velmi raných stádií poškození porostů, kdy poškození ještě není detekovatelné na makroskopické úrovni. Naopak, jak prokázali Campbell et al. (2004), hyperspektrální data umožňují časná stadia poškození porostu zaznamenat. Pro včasnou ochranu vegetace a ekosystémů je přitom zásadní určení právě iniciálních stádií poškození, která se většinou ještě neprojevují viditelnými změnami na vegetaci (Campbell et al. 2004; Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017).

Podstatou hodnocení stavu vegetace je v našem případě hledání časných nespécifických stresových indikátorů až na úrovni obrazových hyperspektrálních dat. Vycházíme ale ze stanovení indikátorů v listové vegetaci s využitím biochemických/biofyzikálních laboratorních analýz a hledání jejich projevu v hyperspektrálních datech, ať již změřených laboratorně (tzv. laboratorním spektrometrem⁶¹ – viz např. Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017) nebo obrazových (získaných hyperspektrálním senzorem neseným různými platformami jako satelit, letadlo nebo RPAS). Na biochemická/biofyzikální stanovení navazuje analýza vztahu mezi získanými biochemickými hodnotami a spektrálními parametry (ať již jednotlivými vlnovými délkami nebo například výše zmíněnými tzv. *narrowband* vegetačními indexy). Ve spektroskopii se přitom využívá principu detekce objektu dle jeho selektivních absorpcí na specifických vlnových délkách, které jsou podmíněny chemickým složením a vlastnostmi (přítomnost aktivních chemických skupin). Podle těchto charakteristických „otisků“ (absorpčních maxim), které jsou přítomné na určitých vlnových délkách, můžeme povrch/materiál látku (indikátor) kvalitativně identifikovat. Intenzita dané absorpce pak umožní přesnější určení množství nebo koncentrace (Clark et al. 1990).

Pokud se podaří najít funkční vztah mezi obsahem indikátoru v listové stanoveným biochemicky a spektroskopicky (z laboratorních dat), můžeme tento vztah následně přenést na úroveň koruny a porostu a využít ke „stanovení“ obsahu dané látky v datech obrazových a tím pro hodnocení stavu vegetace v úrovni porostu nebo ekosystému z obrazových hyperspektrálních dat bez nutnosti náročných terénních odběrů a laboratorních analýz. Informaci o fyziologickém stavu je žádoucí dále s využitím vhodných statistických metod vztáhnout k vybraným antropogenním vlivům (více viz kapitola 3.3). Tento přístup směřuje k hledání obecně platných vztahů/modelů, které by dokázaly na základě nalezených relevantních optických indikátorů nespécifických fyziologických markerů vegetace určit fyziologický stav vegetace z obrazových hyperspektrálních dat (např. Sampson et al. 2003). Právě obecná platnost fungování těchto modelů je však dosud často problematická. K modelování parametrů vegetace na základě jejich spektrálního projevu jsou využívány dva principiálně odlišné přístupy – *empirický* (statistický) přístup a *fyzikální* přístup modelování přenosu záření v prostoru – tzv. modely radiativního transferu (*radiative transfer models – RTM*) – Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. (2017).

61 V našem případě ASDFieldSpec 4 WR: <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/asd-range/fieldspec-range/fieldspec-4-wide-res-field-spectroradiometer/>

V rámci empirického modelování jsou vztahy mezi optickými vlastnostmi vegetace a jejími biochemickými či biofyzikálními vlastnostmi určeny metodami regresní analýzy. Závislou proměnnou je biochemický nebo biofyzikální parametr vegetace a nezávislou proměnnou spektrální odrazivost/propustnost/absorpce. Jak uvádí Červená et al. (2017b), obvykle se využívají tři typy regrese. Jedná se buď o jednoduchou regresi, která modeluje vztah mezi vybraným vegetačním indexem případně odrazivostí na vybrané vlnové délce a parametrem vegetace, dále o mnohonásobnou krokovou regresi („*Multiple Stepwise Regression*“) vybírající ze širší vlnových délek ty, které se zkoumaným parametrem nejvíce korelují, a nebo o metodu PLSR („*Partial Least Square Regression*“), která staví model na základě odrazivosti na všech zadaných vlnových délkách – více viz Zvára (2004, 2008); Pekár, Brabec (2009); Mevik, Wehrens (2007). Pro modelování v rámci empirického přístupu se často využívají již vícekrát zmíněné vegetační indexy. Hlavní výhodou empirického přístupu je jeho jednoduchost. Nevýhodou je jednak nemožnost přenesení vytvořeného modelu na jinou lokalitu či jiná data, a dále to, že vegetační indexy nejčastěji používané pro vytvoření regresních rovnic mohou být citlivé i na jiné charakteristiky vegetace (které nemusí být předmětem výzkumu), na atmosférické vlivy nebo geometrii snímání (viz Červená et al. 2017a; Xue, Su 2017).

V případě druhého přístupu – fyzikálního modelování přenosu slunečního záření ve vegetaci – by měla být možná přenositelnost vytvořených modelů na jiné lokality, než kde byly modely natrénovány (s podobným typem vegetace), a také přenositelnost v čase. Modelování RTM je podstatně složitější (vývoj a natrénování modelu), je založeno na výpočetních algoritmech, které simulují šíření záření prostředím a jeho interakci s objekty (Liang 2004, Červená et al. 2017b). Modely v obecném smyslu vždy realitu zjednodušují, a pokud je použijeme nevhodně, mohou být výsledky zkreslené (Liang 2004). Modely RTM jsme v naší práci neaplikovali. Jsou ale jedním z perspektivních směrů spektroskopie a věnuje se jim mnoho autorů (viz níže).

Mezi vstupy v této části práce figurovala vedle dat získaných biochemickými a biofyzikálními laboratorními analýzami (metody těchto stanovení viz například Lhotáková, Albrechtová 2017), která byla poskytnuta rostlinně biologickou částí týmu (z KEBR), především hyperspektrální laboratorní data. Protože existují dva principiálně odlišné způsoby jejich měření – dvěma různými přístroji – tzv. kontaktní sondou a laboratorní sférou, které nebyly v literatuře dosud porovnány, zabývali jsme se jejich srovnáním v rámci našich výzkumů, a přispěli tak metodicky v tomto směru k rozvoji laboratorní spektroskopie. Na tomto výzkumu jsme spolupracovali s kolegy z Ústavu pro výzkum globální změny AV ČR (Czech Globe⁶²), což je dnes vůdčí výzkumné pracoviště v Česku v oboru spektroskopie. Jednak proto, že vlastní špičkové přístrojové vybavení, včetně leteckého (letadla, hyperspektrální a další letecké senzory), jednak i proto, že vykazuje širokou výzkumnou a publikační aktivitu – se zaměřením jak metodickým, tak na výzkum vegetace (viz Homolová et al. 2013; Lukeš et al. 2013, 2017; Brovkin et al. 2018). Spektroskopických pracovišť není u nás mnoho. Vedle Czech Globe můžeme zmínit například tým vedený V. Kopačkovou v České geologické službě⁶³ (Kopačková et al. 2014, 2015), který se věnuje výzkumu v oblasti pedologie, horninového prostředí a vegetace

62 <http://www.czechglobe.cz/en/>

63 <http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/dpz>

znečištěných oblastí. Dále tým ČZÚ vedený L. Borůvkou, který metody laboratorní spektroskopie využívá ke studiu kontaminace a degradace půd (např. Gholizdeh et al. 2015; Vašát, Kodešová, Borůvka 2017), nebo tým na ČVUT na katedře geomatiky⁶⁴ pod vedením K. Pavelky, který disponuje platformou RPAS a hyperspektrální technologie uplatňuje například v oboru archeologie (Pavelka, Hanuš, Raeva 2018).

V zahraničí patří spektroskopie k nejrychleji se rozvíjejícím směrům DPZ. Z velkého množství významných pracovišť a jmen zmíním jen vybraná, která se věnují vegetaci a patří ke světové špičce v oboru. V USA spolupracujeme se členy spektroskopického týmu NASA Goddard Space Flight Center a University of Maryland Baltimore County zaměřeného například na fluorescenční vegetační spektroskopii a také na využití satelitních hyperspektrálních dat Hyperion-1. Mezi vedoucí osobnosti tohoto týmu patří naše spolupracovnice P. Campbell a dále E. Middleton (Middleton, Cheng, Hilker et al. 2009; Campbell, Middleton, Thome et al. 2013). Předním pracovištěm na evropském poli DPZ a spektroskopie je německá DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.). Tým Spectroscopy and Land Degradation⁶⁵ je aktivní ve vývoji aplikačně orientovaných metod a produktů v oblasti spektroskopických technologií a také testuje simulace dat EnMAP (Bachman et al. 2015; Holzwarth et al. 2018; Storch et al. 2019 a mnoho dalších). Pokroky v oblasti vegetačního mapování a monitoringu přináší další velmi známá a publikačně aktivní skupina – tým University of Twente, Dpt. of Natural Research. Jejími členy jsou například A. Skidmore, R. Darvishzadeh, M. Schlerf, C. Atzberger (Schlerf, Atzberger 2006; Darvishzadeh et al. 2011; Wang et al. 2018; Ali et al. 2017). Mezi přední evropská pracoviště patří i Laboratoř DPZ Univerzity v Curychu⁶⁶ – M. Schaepmann a jeho tým se dlouhodobě věnují modelům radiativního transferu (Laurent et al. 2013, Yanez-Rausell et al. 2014). Modely radiativního transferu rozvíjí i mnoho dalších autorů a je jim věnována celá řada prací (Dawson, Curran, Plummer 1998; Malenovský et al. 2013; Jacquemoud et al. 2009; Hernández-Clemente et al. 2012). Výzkum se zaměřuje také na metodologii měření a nové směry laboratorní či obrazové spektroskopie vegetace – Asner, Martin (2008); Kokaly, Clark (1999); Clevers, Kooistra (2012); Rautiainen et al. (2018); Yanez-Rausell et al. (2014); Zhang et al. (2015); Davidson et al. (2016); Neuwirthová, Lhotáková, Albrechtová (2017) a mnoho dalších. Mezinárodní aktivity v tomto oboru se rozvíjejí například v rámci iniciativy EUFAR (European Facility for Airborne research⁶⁷) podpořené Evropskou komisí a vedou ke zdokonalení výzkumné infrastruktury prostřednictvím mezinárodních projektů. Výzkumná komunita se pak sdružuje v rámci zájmové skupiny EARSeL – SIG Imaging Spectroscopy⁶⁸.

Tyto a další týmy a školy a směry jejich výzkumu slibují do budoucna rozvoj spektroskopie jak v základním, tak v aplikovaném výzkumu, jehož výsledky přispějí zejména v ochraně krajiny a životního prostředí a jejich udržitelnosti. Rozvoj je i v tomto případě umožněn platformou RPAS a jejímu stále častějšímu využívání pro získání hyperspektrálních obrazových dat. Slibnou perspektivu nabízí také již výše zmíněné dlouho plánované a odkládané mise

64 <http://lfgm.fsv.cvut.cz/lfgm.html>

65 https://www.dlr.de/eoc/en/desktopdefault.aspx/tabid-11929/20994_read-41798/

66 https://www.geo.uzh.ch/en/units/rsl/research/Spectro_Lab.html

67 <https://www.eufar.net/welcome-to-eufar/>

68 <http://atcor.dlr.de/SIG-IS.htm>

nízkonákladových satelitních hyperspektrálních senzorů (EnMap, PRISMA, FLEX-VIS, HypsIRI a další). Výzkum v tomto oboru je poměrně náročný na získávání terénních a laboratorních spektrálních a podpůrných dat. Slabinu mnoha týmů (i těch předních) spatřuji v tom, že při stanovení důležitých parametrů vegetace (výše zmíněných nespécifických indikátorů stresu vegetace) nevycházejí z laboratorních měření, ale používají přístroje, které často nejsou kalibrovány a není známa jejich přesnost (Darvishzadeh et al. 2008; Jarocińska 2014; Aneece, Epstein, Lerda 2017). Výhodu, konkurenceschopnost a přínos našeho výzkumu spatřuji právě i v interdisciplinárním složení a vybavení, které umožňuje běžně využívat laboratorní analýzy pro podporu a ověření věrohodnosti geoinformačních metod ve spolupráci s rostlinnými ekofyziology (Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017). Pro další rozvoj a výzkumnou perspektivu našeho týmu je zásadní také nově pořízená technologie – hyperspektrální kamera a LiDAR pro RPAS.

3. Vlastní výzkum: struktura, výstupy a výsledky

Druhá část práce představuje soubor celkem 13 vybraných studií, které vznikaly v rozmezí let 2002–2018. Vlastní výzkum prezentovaný v těchto studiích sleduje výzkumné cíle a výzvy specifikované v úvodu práce (kapitola 1). Studie jsou v této části práce rozděleny do tří tematických oblastí, které navazují na obecnou část teoreticko-metodologických přístupů k výzkumu krajinných změn⁶⁹ a na vymezení předmětové orientace jejich výzkumu (kapitola 2). Jednotlivé výzkumné oblasti postupují od řešení otázek obecné/obecnější povahy k otázkám specifickým/konkrétním a k úžeji vymezenému objektu výzkumu (viz obrázek 1), od využití sekundárních dat k primárním datům, od jednodušších metod hodnocení k aplikaci složitějších (technicky, teoreticky) metod. Těmito třemi navazujícími výzkumnými oblastmi jsou

- (1) výzkum dlouhodobých změn ve využití krajiny na základě sekundárních prostorových databází (studie 1–7),
- (2) aplikace geoinformatiky (konkrétně dálkového průzkumu Země) ve výzkumu stavu a změn krajinného pokryvu horských ekosystémů (studie 8–10),
- (3) hodnocení fyziologického stavu vegetace s využitím spektroskopických metod⁷⁰ (studie 11–13). Vymezení objektu a předmětu výzkumu jednotlivých studií je znázorněno na obrázku 1.

Studie vznikaly postupně v jednotlivých etapách mé více než dvacetileté výzkumné činnosti a dokumentují proměny mého badatelského úsilí, které souviselo s participací na řešení tematicky a problémově různě orientovaných interdisciplinárně laděných výzkumných projektů (včetně projektů mezinárodních) na pomezí geografie, geoekologie, environmentální věd a experimentální biologie. Společným jmenovatelem těchto projektů byla aplikace přístupů moderní geoinformatiky včetně dálkového průzkumu Země. Soubor studií vystihuje nejen jednotlivé etapy vývoje mé výzkumné činnosti, resp. vývoj problémové orientace mého výzkumu, ale v obecné rovině dokládá i proměny předmětové orientace a metodologických přístupů hodnocení krajinných změn / proměn krajiny v Česku a v mezinárodním kontextu. Zejména pak možnosti uplatnit inovace související s dynamickým technologickým pokrokem v získávání, zpracování, analýze a využití informací, které v posledních desetiletích nabízí moderní geoinformatika.

⁶⁹ Studie tyto teoreticko-metodologické přístupy v jistém smyslu dokumentují.

⁷⁰ Řazení publikací v každé části práce – od nejstarších k nejnovějším – odpovídá postupnému vývoji a prohlubování mých výzkumných aktivit. Jedinou výjimkou je v první kapitole (3.1) zařazení publikace č. 2 z roku 2016 před starší publikace, a to z důvodu logické návaznosti textu (tematicky, časově a prostorově) na studii 1.

Soubor studií

1. Bičík, I., **Kupková, L.** (2002): Long term and transformational land use changes in Czechia. In: Himiyama, Y. et al., eds.: Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume II. International Geographical Union Commission on Land Use and Land Cover Change. Hokkaido University of Education, Asahikawa. 13–25.
Kapitola v knize (autorský podíl: 80 %)
2. **Kupková, L.**, Bičík, I. (2016): Landscape transition after the collapse of communism in Czechia, *Journal of Maps*, 12, 526–531.
IF = 1,435 (autorský podíl: 90 %)
3. **Kupková, L.**, Bičík, I., Najman, J. (2013): Land Cover Changes Along the Iron Curtain 1990–2006. *Geografie*, 118, 2, 95–115.
IF = 0,787 (autorský podíl: 80 %)
4. **Kupková, L.**, Ouředníček, M. (2013): Hodnocení intenzity, prostorového rozložení a dopadů suburbanizace v zázemí Prahy s využitím dat DPZ. In: Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J. (eds): *Sub Urbs: krajina, sídla a lidé*. Academia, Prague. 119–149.
Kapitola v knize (autorský podíl: 80 %)
5. Indrová, M., **Kupková, L.** (2015): Změny využití krajiny v suburbánní zóně Prahy v různých přístupech predikčního modelování. *Geografie*, 120, 3, 426–447.
IF = 0,787 (autorský podíl: 50 %)
6. Feranec, J., Solin, L., Kopecká, M., Oťahel, J., **Kupková, L.**, Štych, P., Bičík, I., Kolář, J., Čerba, O., Soukup, T., Brodský, L. (2014): Analysis and expert assessment of the semantic similarity between land cover classes. *Progress in Physical Geography*, 38, 3, 301–327.
IF = 2,728 (autorský podíl: 10 %)
7. Manakos, I., Tomaszewska, M., Gkinis, I., Brovkina, O., Filchev, L., Genc, L., Gitas, I. Z., Halabuk, A., Inalpulat, M., Irimescu, A., Jeleu, G., Karantzalos, K., Katagis, T., **Kupková, L.**, Lavreniuk, M., Mesaroš, M., Mihailescu, D., Nita, M., Rusnak, T., Stych, P., Zemek, F., Albrechtová, J., Campbell, P. (2018): Comparison of Global and Continental Land Cover Products for Selected Study Areas in South Central and Eastern European Region. *Remote Sensing*, 10, 12, 1967.
IF = 3,406 (autorský podíl: 7 %)
8. Suchá, R., Jakešová, L., **Kupková, L.**, Červená, L. (2016): Classification of vegetation above the treeline in the Krkonoše Mts. National Park using remote sensing multispectral data. *AUC Geographica*, 51, 1, 113–129.
SCOPUS (autorský podíl: 30 %)
9. **Kupková, L.**, Červená, L., Suchá, R., Zagajewski, B., Březina, S., Albrechtová, J. (2017): Classification of Tundra Vegetation in the Krkonoše Mts. National Park Using APEX, AISA Dual and Sentinel-2A Data. *European Journal of Remote Sensing*. 50, 1, 29–46.
IF = 1,173 (autorský podíl: 40 %)
10. **Kupková, L.**, Potůčková, M., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2018): Forest cover and disturbance changes, and their driving forces: A case study in the Ore Mountains, Czechia, heavily affected by anthropogenic acidic pollution in the second half of the 20th century. *Environmental Research Letters*, 13, 9.
IF = 4,541 (autorský podíl: 35 %)

11. Lhotáková, Z., Brodský, L., **Kupková, L.**, Kopačková, V., Potůčková, M., Mišurec, J., Klement, A., Kovářová, M., Albrechtová, J. (2013): Detection of multiple stresses in Scots pine growing at post-mining sites using visible to near-infrared spectroscopy. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 15, 2004–2015. DOI: 10.1039/C3EM00388D.

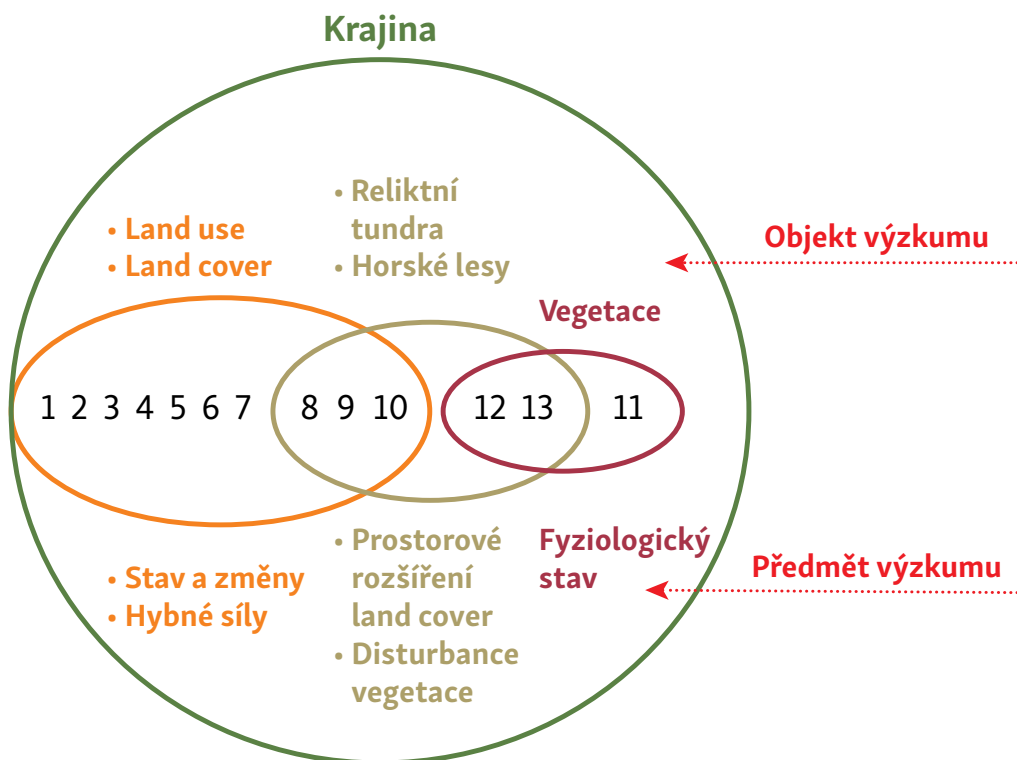
WOS (autorský podíl: 15 %)

12. Potůčková, M., Červená, L., **Kupková, L.**, Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2016): Statistical comparison of spectral and biochemical measurements on an example of Norway spruce stands in the Ore Mountains, Czech Republic. *Geoinformatics FCE CTU*, 15, 69–83.

Recenzovaný článek (autorský podíl: 10 %)

13. Potůčková, M., Červená, L., **Kupková, L.**, Lhotáková, Z., Lukeš, P., Hanuš, J., Novotný, J., Albrechtová, J. (2016): Comparison of Reflectance Measurements Acquired with a Contact Probe and an Integration Sphere: Implications for the Spectral Properties of Vegetation at a Leaf Level. *Sensors*, 16, 1801.

IF = 2,033 (autorský podíl: 15 %)

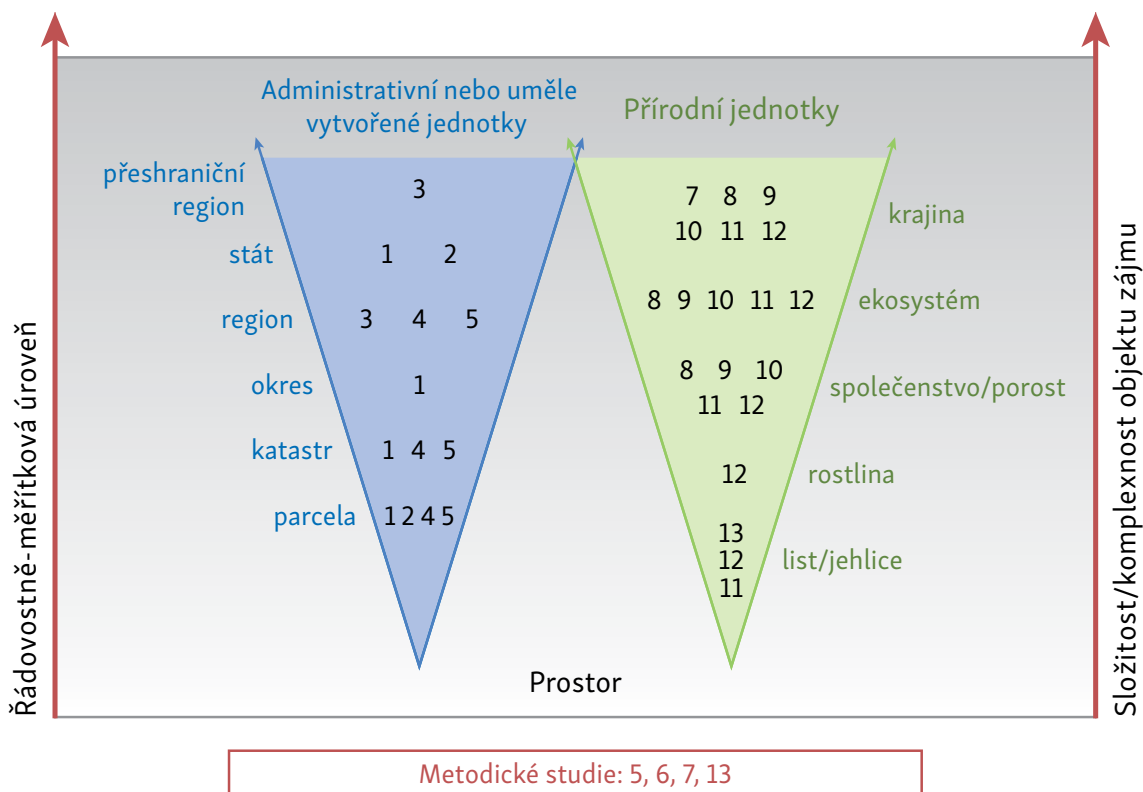


Obrázek 1: Vymezení objektu a předmětu výzkumu ve studiích zařazených do habilitační práce.
Zdroj: Vlastní zpracování.

Všechny studie zařazené do této práce jsou propojeny klíčovými slovy **geoinformatika** a **krajina** a pokrývají v rámci výše zmíněných tří základních směrů výzkumu relativně širokou škálu dílčích většinou multidisciplinárních výzkumných oblastí/témat: land use / land cover change, prostorové databáze a jejich využití pro hodnocení změn krajiny, změny krajiny v oblastech se specifickým vývojem, možnosti monitoringu vegetace v horských oblastech Česka z primárních dat DPZ, hodnocení fyziologického stavu vegetace vycházející z metod spektroskopie a ekofyziologie rostlin. V práci jsou v kontextu aktuálního rámce a inovací/pokroků ve sféře geoinformatiky řešeny především metodické otázky související s využitím různých typů dat a metod – konkrétně pak s jejich vlastnostmi, srovnatelností, mírou a vypovídací schopností obsažené informace ve smyslu kvantitativního i kvalitativního hodnocení, přesností datových zdrojů i produktů a metod analýzy i se získáváním relevantních empirických datových vstupů.

Studie různým způsobem pracují s prostorovým a časovým aspektem. Z hlediska prostorového jsou v práci hodnoceny složky krajiny v několika řádovostně-měřítkových úrovních definovaných buď administrativně-správními nebo přírodními jednotkami (viz obrázek 2). Ve většině studií jsem pracovala s více hierarchickými úrovněmi prostoru, přičemž v některých pracích je akcentována složka metodická.

Z hlediska časového jsou v souboru studií zastoupeny texty, které dokumentují výsledky hodnocení změn krajiny v určitém časovém řezu (hodnocení statické povahy), ale i texty



Obrázek 2: Rozdělení studií z hlediska řádovostně-měřítkové úrovně a složitosti analyzovaných jednotek/objektu zájmu. Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 1: Rozdělení studií z hlediska časových horizontů/let a období, které výzkum zahrnoval

Číslo studie	Období hodnocení (červeně) / roky hodnocení (černě) / predikované období (zeleně)
1	1845–1948, 1948–1990, 1841, 1842, 1936, 1949, 1964, 1968, 1989, 1992, 1997, 1998, 1999
2	1990–2010
3	1990–2000, 2000–2006
4	1990–2007
5	1994–2007, 2007–2020
6	—
7	2000, 2010, 2011, 2012
8	2013, 2014
9	2012, 2013, 2015
10	1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1992, 1994, 1995, 1998, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2009, 2011, 2015, 2016
11	2010
12	2013
13	2013

Zdroj: Vlastní zpracování.

dokumentující možnosti hodnocení dlouhodobých změn či proměn využití krajiny v určitých, různě dlouhých časových obdobích/etapách vývoje společnosti (dynamické hodnocení, časová řada, change detection) – viz tabulka 1. Celkově studie zahrnují období cca posledních 170 let, důraz je kladen na období od roku 1990.

Široká škála prostorových a časových úrovní hodnocení umožňuje určitý nadhled, srovnání, možnost hledání odpovědí na obecnější otázky, jednak z hlediska konkrétních výsledků výzkumu, jednak v rovině metodických cílů – zhodnocení přínosů a nedostatků použitých dat a postupů pro analýzu stavu, změn a vývoje krajiny. Jednotlivé části práce věnované vlastnímu výzkumu (kapitoly 3.1–3.3) i studie v nich zařazené spojuje důraz na prostorovou analýzu s využitím geoinformačních přístupů a dat. Zároveň je však každá z částí odlišná typem využitých dat a metod jejich zpracování/hodnocení a kvalitou informace, kterou lze s využitím daných dat a metod získat. Právě využitý typ dat a na ně navazující metody analýzy a kvalita/vypovídací schopnost informace, kterou data a studie z nich vycházející přinášejí, je kritériem pro rozdělení do jednotlivých tematických částí (viz tabulka 2).

V první části souboru studií je zařazeno 7 textů (1–7), které se zabývají hodnocením změn a dlouhodobým vývojem využití krajiny (land use / land cover) v Česku a některých dalších státech Evropy. Hodnocení vycházejí zejména ze sekundárních dat – jednak z prostorové databáze výzkumného týmu LUCC Czechia⁷¹ (Databáze LUCC Czechia 2019; zpracovaná na základě převzatých dat katastrální evidence) a jednak převzatých z jiných zdrojů (například Corine

71 Tým LUCC Czechia: <http://web.natur.cuni.cz/ksgrrek/lucc/>

Tabulka 2: Typy dat a metody analýz použité ve studiích zařazených do habilitační práce

Číslo studie	Primární datový zdroj	Konkrétní/dílčí data	Základní metoda analýzy/přístup	Konkrétní/dílčí metody analýzy
1	Prostorová databáze katastrální evidence	Databáze LUCC Czechia (2019) Mapy stabilního katastru Letecké snímky Mapy katastru nemovitostí Podklady terénního mapování	Analýza v GIS	Analýza databáze (výpočty bilančních ukazatelů, indexů, typologie) Manuální vektorizace Analýza překryvu Expertní hodnocení
2	Prostorová databáze katastrální evidence Mapy využití krajiny	Databáze LUCC Czechia (2019) Mapy stabilního katastru Ortofota Data družice QuickBird Podklady terénního mapování	Analýza v GIS	Analýza databáze (výpočty indexů, komplexních ukazatelů procesů změny krajiny) Manuální vektorizace Analýza překryvu Expertní hodnocení
3	Prostorová databáze land use / land cover odvozená z dat DPZ	Corine Land Cover databáze	Analýza v GIS	Analýza překryvu, výpočty v databázi
4	Prostorová databáze land use / land cover odvozená z dat DPZ	Ortofota Data družice QuickBird ZABAGED (Základní báze geografických dat)	Analýza v GIS	Manuální vektorizace Analýza překryvu Výpočty v databázi
5	Prostorová databáze land use / land cover odvozená z dat DPZ	Ortofota Data družice QuickBird ZABAGED (Základní báze geografických dat) Územní plány Vrstevnice, BPEJ	Modelování v GIS Metodická studie: srovnání modelů a přístupů k modelování	Manuální vektorizace Parametrizace modelů Modelování
6	Prostorové databáze land use / land cover odvozené z dat DPZ	Legendy databází Corine Land Cover a NLDC 1992	Metodická studie: Srovnatelnost klasifikačních nomenklatur	Expertní hodnocení Statistické vyhodnocení
7	Prostorové databáze land use / land cover odvozené z dat DPZ	Globální a kontinentální databáze CLC, GLOB, GIOS, GLC	Metodická studie: Porovnání přesnosti produktů LUCC	Standardní metody hodnocení přesnosti klasifikace Expertní přístup
8	Primární data DPZ	Ortofota Data družice WorldView-2 Data družice Landsat 8	DPZ – klasifikace	Pixelový přístup: Maximum Likelihood, Support Vector Machine, Neural Net Objektová klasifikace: SVM
9	Primární data DPZ	Data družice Sentinel-2A Data leteckých hyperspektrálních senzorů AISA Dual a APEX	DPZ a obrazová spektroskopie – klasifikace	Pixelový přístup: Maximum Likelihood, Support Vector Machine, Neural Net Objektová klasifikace: SVM
10	Primární data DPZ	Časová řada dat systému Landsat – družic 4, 5, 7, 8	DPZ – change detection	Operace s pásmy, Integrated Forest Score Disturbanční index

Číslo studie	Primární datový zdroj	Konkrétní/dílčí data	Základní metoda analýzy/přístup	Konkrétní/dílčí metody analýzy
11	Laboratorní spektroskopická data Laboratorní biochemická/ biofyzikální data	Laboratorní spektra listoví borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>) Výstupy laboratorního stanovení vegetačních parametrů (chlorofyl a, b; karotenoidy, fenolické látky, lignin, relativní obsah vody) Výstupy laboratorního stanovení půdních vlastností	Laboratorní spektroskopie	Analýza MANOVA Jeffries–Matusita distances Empirické modely – Partial least squares regression Biochemická a biofyzikální laboratorní stanovení
12	Laboratorní spektroskopická data Obrazová hyperspektrální data Laboratorní biochemická/ biofyzikální data	Laboratorní spektra listoví smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> L. Karst.) Data hyperspektrálního leteckého senzoru APEX Výstupy laboratorního stanovení vegetačních parametrů (chlorofyl a, b; karotenoidy; relativní obsah vody)	Laboratorní a obrazová spektroskopie	Vegetační indexy Analýza ANOVA Metoda Tukey HSD Hot spot analýza Empirické modely – lineární regrese Biochemická a biofyzikální laboratorní stanovení
13	Laboratorní spektroskopická data Laboratorní biochemická/ biofyzikální data	Laboratorní spektra spektralonu, barevných papírů, jehlic smrku ztepilého (<i>Picea abies</i> L. Karst.), listů tabáku (<i>Nicotiana Rustica</i> L.) Výstupy laboratorního stanovení vegetačních parametrů (chlorofyl, karotenoidy; relativní obsah vody)	Laboratorní spektroskopie Metodická studie: Porovnání měření spekter kontaktní sondou a integračními sférami	Vegetační indexy průměrný absolutní rozdíl mezi spektry, medián rozdílů, směrodatná odchylka a párový t-test, lineární regrese Biochemická a biofyzikální laboratorní stanovení

Zdroj: Vlastní zpracování

Pozn.: Odkazy a zdroje dat a vysvětlení jednotlivých metod, názvů i principů viz příslušné články a komentář k nim (kapitoly 3.1–3.3). Okrovou barvou jsou označeny studie využívající převážně sekundární prostorové databáze a analýzu v GIS, světle zelenou studie vycházející z primárních dat a metod DPZ a světle červenou barvou studie využívající spektroskopická data a laboratorní biochemická/biofyzikální data a metody spektroskopie.

Land Cover – CLC, Global Land Cover a další). První články této části (studie 1, 2) odrážejí možnosti výzkumu konce 20. století, které jsou dnes již víceméně překonané⁷² zejména v kontextu umocňujícího se dynamického rozvoje DPZ. Pro některé studie v této části práce byla dále data pořízena vizuální interpretací leteckých nebo družicových snímků a jejich manuální vektorizací, případně mapováním v terénu (např. články 2, 4, 5). Informace z uvedených dat byla získána pomocí relativně jednoduchých analýz v prostředí GIS (např. analýza překryvu). Kromě informací o stavu a vývoji využití krajiny jsou analyzovány a diskutovány i možné příčiny / hybné síly krajinných změn. Jejich analýza vychází opět převážně ze sekundárních dat z publikací a z expertního hodnocení. Informace v této části práce obsahuje prostorovou a jednoduchou atributovou/tematickou složku založenou na subjektivní interpretaci typu využití krajiny/stavu prostředí pozorovatelem – člověkem a může být do určité míry zkusena například z důvodu zaostávající aktualizace statistické evidence využití ploch). V několika případech (např. články 3, 7) jsou informace převzaté z databází, které vznikly polo/automatickou extrakcí z dat DPZ (např. databáze Corine Land Cover, Global Land Cover). Databáze je pro náš výzkum tedy i v tomto případě sekundárním datovým zdrojem.

Ve druhé části souboru studií zaměřené na monitoring vegetace horských ekosystémů s využitím dat DPZ jsou zařazeny 3 práce (8–10), v nichž byla informace v rámci vlastního výzkumu týmu laboratorní a obrazové spektroskopie⁷³ extrahována z primárních dat získaných metodami dálkového průzkumu Země, konkrétně z multispektrálních a hyperspektrálních obrazových dat speciálními polo/automatickými metodami a nástroji pro analýzu dat DPZ s podporou dat získaných v terénu. Tyto metody vycházejí z fyzikální podstaty DPZ – analyzují spektrální projev jednotlivých objektů na zemském povrchu na různých vlnových délkách elektromagnetického spektra. Kromě prostorové informace obsahují také tematickou složku, jejíž podstata je tedy založena na fyzikálních principech a její přesnost odpovídá aktuálnímu stavu poznání v oboru automatické extrakce informace z optických dat DPZ. Informace jsou objektivní (v závislosti na míře poznání v tomto oboru; nezávisí na osobě pozorovatele, subjektivní přístup se může projevat jen zčásti, například při tvorbě legendy, nikoliv při samotné analýze hodnot obsažených v datech). Hodnocení je opakovatelné a data je možné získat v jednom časovém okamžiku pro relativně rozsáhlá území.

Ve třetí části souboru studií jsou zařazeny 3 texty (11–13), v nichž je hodnocen stav vegetace s využitím spektroskopických metod a několika typů primárních dat. Kromě hyperspektrálních obrazových dat DPZ vstupovala do analýz zejména hyperspektrální data laboratorní. Ta spektrální chování analyzovaného objektu popisují bodově, prostřednictvím velmi podrobné spojité spektrální křivky (odrazivosti nebo propustnosti), která není prostorově lokalizovaná. Při analýze dat v této části práce byly navíc aplikovány i další speciální metody umožňující integrální přístup nezbytný pro hodnocení fyziologického stavu vegetace. Články zařazené ve třetí části souboru studií totiž využívají také data získaná na základě biochemické/biofyzikální laboratorní analýzy vegetace (chemické stanovení látek obsažených ve vegetaci – jako

72 Uvedené texty reflektují daný časoprostorový kontext výzkumu; v tomto kontextu byly tehdejší výzkumy progresivní a inovativní.

73 <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/veda-a-vyzkum/vyzkumne-tymy/vyzkumny-tym-labororni-a-obrazove-spektroskopie>

je chlorofyl a, b, lignin, voda apod.). Přístup k těmto datům byl možný díky interdisciplinární spolupráci s biologií rostlin v rámci Výzkumného týmu laboratorní a obrazové spektroskopie na PřF UK (spojení metod DPZ a experimentální biologie rostlin). V této části práce jde tedy nejen o rozpoznání a typologii/klasifikaci objektů (kategorií krajinného pokryvu) v prostoru, ale i o zhodnocení stavu daného objektu (zda je vegetace zdravá či poškozená) na základě kvantitativního parametru, který daný stav indikuje (nespecifického indikátoru). Výstupy těchto analýz jsou využívány ke kalibraci obrazových dat DPZ a cílí do budoucna na možnost hodnotit stav objektů (v našem případě vegetace) na zemském povrchu na základě modelů (modely empirické nebo tzv. modely přenosu záření – viz již kapitola 2.4) automaticky bez použití náročných (časově a objemem práce) terénních a laboratorních výzkumů. Použité metody jsou objektivní, ale některé typy modelování s sebou nesou problém částečného zjednodušení reality.

Z výše uvedeného je zřejmé, že složitost výzkumu a komplexnost použitých metod od první směrem ke třetí tematické části souboru studií zařazených do habilitační práce postupně narůstá a zároveň se také mění typ a kvalita získaných a ve výzkumu uplatněných dat/informací. Objektem výzkumu přitom stále zůstává krajina – problémy změn jejího využití, pokryvu a stavu vegetace. A to jak v jednotkách vymezených uměle nebo respektujících přírodní komplexy, tak v úrovni listu/parcely nebo krajinného celku/regionu, ať již v jednom okamžiku nebo kratším či delším časovém období.

3.1 Hodnocení změn využití krajiny a jejích hybných sil s využitím prostorových databází land use / land cover

Studie zařazené v této části habilitační práce jsou výsledkem týmového i mého individuálního výzkumu realizovaného zejména v rámci aktivit Výzkumného týmu změn využití krajiny (LUCC Czechia) na PŘF UK I. Bičíka⁷⁴. S týmem jsem začala spolupracovat v době pregraduálního studia na Ústavu pro životní prostředí PŘF UK (v roce 1995). Studie prezentované v této části práce (publikace 1–7) vznikaly postupně v průběhu let 2002–2018 a jsou výstupem několika výzkumných projektů podpořených Grantovou agenturou ČR⁷⁵, na jejichž řešení jsem se v rámci týmu LUCC Czechia podílela.

Od roku 2012 tým LUCC Czechia úzce spolupracoval s Výzkumným centrem historické geografie (VCHG)⁷⁶ pod vedením E. Semotanové z Historického ústavu AV ČR v Praze a P. Chromého z geografické sekce Přírodovědecké fakulty UK a některé publikace (například publikace 2, 3, 5) vznikly a byly podpořeny také v rámci této spolupráce. Intenzivně jsem také spolupracovala s týmem Urbánní a regionální laboratoře⁷⁷ pod vedením M. Ouředníčka, zejména na tématech vztahujících se k suburbanizaci⁷⁸ a historickému GIS (tuto spolupráci reprezentují publikace 4 a 5).

Jak bylo uvedeno výše, tato část habilitační práce vychází z prostorových databází land use / land cover. Analyzovány jsou jednak databáze vytvořené v rámci týmu LUCC Czechia z dat převzatých z evidence katastru nemovitostí (článek 1 a 2), jednak databáze převzaté (článek 3). V případě článků 4 a 5 byla pro tvorbu vlastní databáze převzata a do určité míry modifikována nomenklatura široce využívané databáze Corine Land Cover⁷⁹.

Tato kapitola obsahuje také tři metodicky zaměřené studie (publikace číslo 5, 6 a 7). První z nich aplikuje prostorové databáze změn využití krajiny v suburbánní zóně Prahy pro metodické porovnání dvou nástrojů využívaných v predikčním modelování vývoje krajiny. Druhá metodicky zaměřená studie vznikla v rámci spolupráce našeho týmu LUCC Czechia s kolegy z několika dalších vědeckých institucí v Česku a na Slovensku, a to jako jeden z výstupů reprezentujících mezinárodní spolupráci v rámci výzkumné komise Mezinárodní geografické

74 Pod vedením I. Bičíka jsem zpracovala i svoji dizertační práci – Kupková (2001).

75 Projekty GAČR: 205/95/0611 Dlouhodobé trendy vývoje a perspektivy využití ploch ČR z hlediska její současné socioekonomické transformace; 105/98/1184 Land Use/Land Cover Change – Vývoj, souvislosti, perspektivy; 205/01/1420 Využití ploch Česka v období transformace (1990–2000); 205/05/0475 Hybné síly změn diferenciací využití ploch Česka a sousedních zemí. Perspektivy po přijetí do EU; 205/09/0995: Regionální diferenciací a potenciální rizika využití ploch jako odraz funkčních změn krajiny Česka 1990–2010; 13-16084S Sociální a ekonomické hybné síly ztrát zemědělské půdy v Česku po roce 1990 v regionální perspektivě.

76 V rámci projektu GAČR P410/12/G113: Výzkumné centrum historické geografie – Historical Geography Research Centre. Grantový projekt na podporu excelence v základním výzkumu (<http://www.historic-kageografie.cz/>).

77 URRLAB: <http://www.urrlab.cz/>

78 Spolupráce na projektu MŽP ČR: Suburbánní rozvoj, suburbanizace a urban sprawl v České republice: omezení negativních důsledků na životní prostředí.

79 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-corine>

unie (IGU Comission on Land Use and Land Cover Change)⁸⁰. Studie je věnována problému vzájemné srovnatelnosti klasifikačních nomenklatur land cover dvou klasifikačních systémů (prostorových databází). Dílem širšího kolektivu autorů je i třetí metodicky zaměřená publikace, která pracuje též s prostorovými databázemi land cover odvozenými z dat DPZ (vybranými klasifikačními produkty), a to ve smyslu hodnocení jejich přesnosti. Tato publikace vznikla jako výstup dlouhodobější mezinárodní spolupráce členů týmu LUC Czechia v rámci mezinárodní sítě SCERIN⁸¹ podporované NASA a je vyvrcholením této části výzkumu, pokud se týká mezinárodní spolupráce.

Cílem publikací zařazených v této části habilitační práce je prezentovat výsledky komplexního výzkumu dlouhodobého vývoje využití krajiny (land use / land cover change; dynamický land use) a jeho hybných sil v různých časových horizontech od první poloviny 19. století do současnosti v různých prostorových jednotkách a měřítkových úrovních. Hodnocení změn využití krajiny, prezentované v jednotlivých pracích, probíhalo jednak v úrovni celé republiky, dále v různě vymezených zájmových regionech a též v zájmových územích v úrovni katastrů. Analýzy měly odpovědět na otázky, jak se v průběhu času měnilo využití krajiny (případně krajinný pokryv) na území Česka a jaká byla specifika některých vybraných regionů (pohraničí, pražská suburbánní zóna), dále jaké faktory, resp. hybné síly byly příčinou změn v různých obdobích. Vstup do kapitoly tvoří text, který shrnuje dlouhodobé změny land use na území Česka v několika prostorových úrovních od roku 1845 do roku 2000. Na něj navazuje práce o vývoji využití krajiny v období posttotalitní transformace do roku 2010. Tyto dva články reprezentují a přehledně shrnují výzkum LUC Czechia na PŘF UK postavený zejména na databázi LUC Czechia, kterou tým zpracoval⁸². První dva články využívají tuto databázi pro hodnocení změn využití krajiny v úrovni celé republiky, a tvoří tak rámec, který charakterizuje obecné trendy změn a jejich příčiny na nejvyšší prostorové úrovni využití v této práci. V těchto článcích jsou zároveň trendy popsány na základě Databáze LUC Czechia (2019) pro úroveň republiky dokládány a dále v detailu analyzovány na příkladech typově odlišných zájmových území. V nich je změna analyzována až do úrovně parcel, tedy nejmenších využívaných administrativně-správních jednotek – zde můžeme hodnotit i prostorové přesuny jednotlivých kategorií uvnitř katastru. K tomu jsou využita opět data katastrální evidence, ale tentokrát mapová (mapy stabilního katastru, mapy katastru nemovitostí) nebo pro současnost výstupy aktuálního mapování stavu využití krajiny v terénu.

V dalších třech článcích této kapitoly (3–5) jsou analyzovány změny ve využití krajiny a jejich hybné síly ve specifických zájmových regionech. Jednak v pohraničním regionu

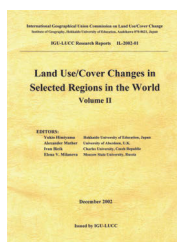
80 The International Geographical Union (IGU) založila Study Group on Land Use and Land Cover Change (IGU-LUCC) v listopadu 1996, v roce 2002 se ze studijní skupiny stala komise IGU – <http://lucc.zrc-sazu.si/Home.aspx>. Od roku 2017 jsem členkou Steering Committee této komise.

81 SCERIN – South Eastern and Central Europe regional networks of the GOF C-GOLD panel. <http://csebr.cz/scerin/>. V síti SCERIN jsem regionální kontaktní osobou a organizátorkou pravidelných workshopů.

82 Databáze eviduje data o dlouhodobém využití území Česka získaná z katastrální evidence pro 8 kategorií v šesti časových horizontech od roku 1845 (data stabilního katastru) pro administrativní jednotky – vychází z úrovně katastrálního území. V úrovni dat databáze LUC Czechia je k dispozici jedno číslo pro rozlohu každé kategorie za celý katastr. Katastr tak tvoří pomyslnou „černou skříňku“ a prostorové změny uvnitř jednotky tato data nepopisují.

Česka, resp. přeshraničním regionu východního a západního bloku (s využitím databáze Corine Land Cover jsou hodnoceny změny v období 1990–2006 – článek 3), jednak ve druhém specifickém území – suburbánní zóně Prahy (článek 4). Změny LUCC v pražské suburbánní zóně jsou hodnoceny (konkrétně pro 7 katastrů na východním okraji Prahy) od roku 1990 do roku 1997 s využitím metod vizuální interpretace a manuální vektorizace ortofot a snímků družice QuickBird. Výstupy hodnocení změn v pražské suburbánní zóně (změnové mapy) byly využity jako vstup pro další článek (5), v němž jsou aplikovány dva nástroje predikčního prostorového modelování pro odhad vývoje využití půdy v zájmovém území Modletic a okolí⁸³.

Cílem metodicky zaměřených studií (práce 5–8) bylo jednak zhodnotit výhody a nevýhody a hlavní přínos využití geoinformačních metod pro tradiční výzkum dlouhodobých změn využití krajiny, jednak posoudit vypovídací schopnost, věrohodnost a přesnost používaných dat i otázky srovnatelnosti nomenklatur, která je velice důležitá pro komparaci změn využití krajiny v mezinárodním kontextu.



Bičík, I., Kupková, L. (2002): Long term and transformational land use changes in Czechia. In: Himiyama, Y. et al., eds.: Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World - Volume II. International Geographical Union Commission on Land Use and Land Cover Change. Hokkaido University of Education, Asahikawa. 13–25. Článek v odborné knize (autorský podíl: 80 %)

První studie, zařazená do této kapitoly, byla publikována ve druhém díle ediční řady mezinárodních atlasů Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World⁸⁴. Příspěvek vychází z dlouhodobého úsilí týmu LUCC Czechia vloženého do tvorby již zmíněné prostorové databáze LUCC Czechia (2019) – podrobně viz Bičík et al. (2010, 2015). Cílem studie bylo analyzovat dlouhodobé změny land use v Česku a jejich hybné síly ve třech řádovostně-měřítkových úrovních. Jednak v úrovni tzv. stabilních územních jednotek (SÚJ) pro celou republiku, dále v úrovni okresů (součet za všechny SÚJ v okrese) a poté v úrovni parcel uvnitř katastru ve vybraných zájmových územích. Pro úroveň okresů a SÚJ jsou v analýze krajinných změn uplatněny bilanční ukazatele změn využití jednotlivých kategorií ploch a komplexní ukazatel popisující podíl území, na němž došlo k jakékoliv změně (index změny). Komplexní vyhodnocení vývoje využití krajiny umožňují také souhrnné typologie, které sdružují územní jednotky dle typů změny (sumární změny a změny v rámci kategorií zemědělské půdy), k nimž ve sledovaných obdobích došlo. Pro úroveň zájmových území byly k analýze vektorových vrstev vzniklých

83 Článek vznikl jako výstup diplomové práce Indrová (2012) pod mým vedením.

84 Velkoformátové atlasy s příspěvky k tématu land use / land cover change od autorů z mnoha zemí prakticky všech světadílů. Tuto ediční řadu pod hlavičkou IGU Commission on Land Use and Land Cover Change založil v roce 2001 Y. Himiyama z Hokkaido University of Education (aktuálně – prosinec 2018 – prezident Mezinárodní geografické unie), s nímž dlouhodobě spolupracujeme a na vydávání atlasů se podílíme (pět dílů z dosud třináctidílné řady jsme editovali a vydali v Praze).

vektorizací map stabilního katastru a současného katastru využity metody prostorového překryvu v GIS.

Vyhodnocení typů změn celkové i zemědělské struktury využití krajiny v úrovni okresů následované v pozdějších letech (viz např. Bičík et al. 2010, 2015) i hodnocením v úrovni SÚJ prokazatelně potvrdilo zásadní rozdíly v typech a intenzitě změn mezi sledovanými obdobími. Patrně nejzajímavější výsledky přineslo hodnocení změn využití krajiny v období 1948–1990, kdy drtivá většina všech územních jednotek vykázala podobné trendy, tj. úbytek zemědělské půdy, nárůst lesních a ostatních ploch a v rámci zemědělské půdy úbytek orné půdy, pastvin a luk doprovázený nárůstem ploch trvalých kultur (zahrady). Orná půda v období totalitní komunistickým režimem centrálně plánované ekonomiky nenávratně mizela zejména z důvodu záborů pro výstavbu, těžbu, industrializaci nebo i z důvodu působení specifických hybných sil, jako byla marginalizace pohraničních území po odsunu německého obyvatelstva a instalace železné opony. Vyvlastnění půdy a kolektivizace se promítly ve struktuře krajiny a změně její jemnozrné mozaiky (často zmiňované v literatuře – Lipský 1994, 1995) ve velké lány včetně odstranění prvků důležitých pro stabilitu krajiny (meze, remízky, mokřady apod.), což je pak kromě dalších změn souvisejících například s polohou na gradientu exponovanosti území (viz Hampl, Gardavský, Kühnl 1987; Hampl 1998, 2005) dokumentováno na detailní úrovni zájmových území. Komplexní ukazatele změny land use ve studii využité pro různě definované prostorové jednotky v několika měřítkových a časových úrovních, analýza v prostředí GIS a expertní hodnocení hybných se v této i mnoha dalších pracích našeho týmu ukázaly jako vhodný přístup k hodnocení a interpretaci krajinných změn a odrazový můstek pro analýzu proměn krajiny specifických regionů, kterou jsem se zabývala v dalším výzkumu (viz články 3–5).

Můj přínos k výzkumu spočíval zejména ve zpracování podkladů pro úroveň zájmových území a analýze změn v této úrovni, již do té doby nebyla v rámci výzkumného týmu věnována pozornost.



Kupková, L., Bičík, I. (2016): Landscape transition after the collapse of communism in Czechia, *Journal of Maps*, 12, 526–531.

WoS IF = 1,435 (autorský podíl: 90 %)

Druhá publikace vznikla relativně nedávno, v roce 2016. Je zařazena mimo časovou posloupnost textů prezentovaných v této kapitole. Logicky tématem, prostorovým rozsahem analyzovaného území, použitými daty a metodami a zejména časovým zasazením totiž navazuje na předchozí publikaci. Studie prezentuje změny využití krajiny v Česku v období posttotalitní transformace od roku 1990 do roku 2010⁸⁵. Článek, který vznikl jako součást výzkumu týmů LUCC Czechia a VCHG, vyšel v časopisu *Journal of Maps*⁸⁶.

85 Databáze LUCC Czechia byla oproti prvnímu prezentovanému výstupu rozšířena o časový horizont 2010.

86 Ten je pro geoinformační a geografickou komunitu důležitý, protože je v něm možné publikovat komplexní mapové výstupy.

Příspěvek se tematicky řadí k dosti rozsáhlé skupině publikací, které reagovaly na politické, ekonomické a sociální změny po rozpadu východního komunistického bloku na přelomu 80. a 90. let minulého století a analyzovaly jejich vliv na změny využití krajiny – land use / land cover (např. Kuemmerle et al. 2008, 2009; Griffiths et al. 2013, nově také např. Cegielska et al. 2018). Cílem studie bylo pomocí názorných mapových výstupů prezentovat pro dvě analyzované prostorové úrovně (úroveň státu a detailní úroveň změn uvnitř katastrů dvou zájmových území) a stručně zhodnotit změny ve využívání krajiny v Česku v období posttotalitní transformace a jeho postupující integrace do evropských struktur (1990–2010) včetně diskuze působení zejména společenských hybných sil.

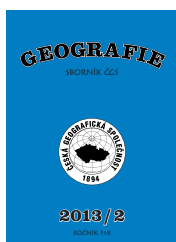
Metodický článek navazuje na předchozí publikaci – například využitím indexu změny pro hodnocení intenzity změn v SÚJ za území státu nebo způsobem analýzy zájmových území (vektORIZACE a vizuální interpretace ortofot, snímků z družice QuickBird a map z terénu, analýza překryvu v GIS a vyhodnocení změn). Nově jsou v článku využity dvě metody. Jednak hodnocení procesů změn krajiny, což je metoda upravená na základě přístupu slovinských kolegů (Gabrovec, Petek, Kladnik 2001; Gabrovec, Kladnik 1997)⁸⁷. Dále je v jedné mapě prezentována tzv. extenzifikace, což je parametr využitý originálně v tomto článku, který dokumentuje přechod k méně intenzivním formám využití krajiny. Zvolené přístupy a kombinace dvou měřítkových úrovní se ukázaly jako velice vhodné a vypovídající pro vizualizaci a hodnocení komplexních změn (typy změn, jejich rozložení v prostoru a intenzita) využití krajiny.

Mezi hlavní přínosy výsledků publikovaných v článku patří jednak potvrzení prohloubení dvou zásadních procesů změny krajiny pozorovaných s menší intenzitou již v období 1990–2000 (viz publikace 1). Extenzifikace – nárůst lesních ploch a trvalých travních porostů – byla zaznamenána mezi lety 1990 a 2010 na téměř pětina rozlohy Česka (18,1 % území republiky), zejména pak v horských oblastech s méně příznivými přírodními podmínkami a má do značné míry spojitost se změnou způsobu vyplácení zemědělských dotací i změnami vlastnické struktury půdy. Druhým nejvýznamnějším trendem byla urbanizace/suburbanizace na území velkých měst a v jejich zázemí. Oba tyto procesy byly dokladovány také ve vybraných zájmových územích⁸⁸.

Podobné procesy byly sledovány v dalších letech i na jiných místech Evropy (Bürgi et al. 2017; Jepsen et al. 2015; van Vliet et al. 2015) a byly označeny termínem „polarizace krajiny“. Jedná se v podstatě o úbytky orné půdy v důsledku dvou protichůdných trendů. Na jedné straně orná půda ubývá v důsledku extenzifikace (na jejím místě se objevují louky, pastviny, lesy nebo opuštěná půda) a na druhé straně ornou půdu pohlcuje zástavba a s ní spojené aktivity.

87 Metoda pracuje se čtyřmi typy změn krajiny – intenzifikace, zatravnění, zalesňování a urbanizace a třemi stupni jejich intenzity (podrobně viz Bičík et al. 2015).

88 V Hoštce (periferní území ve vrchovině Českého lesa – 558 m n. m., v blízkosti hranice s Německem, okres Tachov) v průběhu sledovaných 20 let prakticky vymizela orná půda (na počátku 59 %, zůstala 2 % celkové výměry). Byla nahrazena především pastvinami a nově se objevily také plochy opuštěné půdy (7 %!). Extrémním protikladem vývoje v Hoštce jsou změny v území obce Jirny (suburbánní zóna v zázemí Prahy), kde přibýlo 7,5 % antropogenních, většinou trvale zpevněných ploch. Kategorii, která ubývala, byla i v tomto případě orná půda. V této lokalitě ovšem orná půda s vysokou bonitou.



Kupková, L., Bičík, I., Najman, J. (2013): Land Cover Changes Along the Iron Curtain 1990–2006. *Geografie*, 118, 2, 95–115.

WoS IF = 0,787 (autorský podíl: 80 %)

Tento článek vznikl v rámci výzkumných aktivit týmů LUCC Czechia a VCHG a z metodického hlediska souvisí s výzkumy prezentovanými v předchozích dvou studiích. Patří do skupiny mých prací, které se věnují hodnocení změn land use / land cover v období posttotalitní transformace. Změny krajiny jsou zde hodnoceny v letech 1990–2006, a to ve specificky definovaném území vymezeném zónou 15 km od tzv. železné opony. Článek nevyužívá databázi LUCC Czechia jako předchozí dva příspěvky, nýbrž jinou prostorovou databázi – Corine Land Cover⁸⁹ (CLC). Ta vznikla jako výstup klasifikace družicových dat DPZ. Cílem článku bylo vyhodnotit a porovnat změny land cover po pádu železné opony – v příhraničním území na východní a západní straně⁹⁰ železné opony ve dvou obdobích (1990–2000 a 2000–2006). Předpokladem bylo, že land cover na východní a západní straně příhraničí se v době pádu železné opony bude výrazně lišit, zejména z důvodu dlouhodobého vlivu rozdílných politických a ekonomických systémů, které hranice oddělovala. Předpokládali jsme také, že po pádu železné opony budou intenzivnější změny probíhat na „východní“ straně hranice, mj. v důsledku posttotalitní transformace zemědělství. Pro analýzu změn využití krajiny byly opět využity metody a nástroje GIS (analýza překryvu) a index změny.

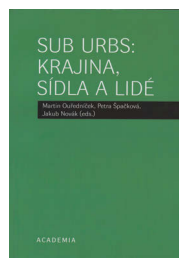
Výsledky ukázaly, že velké změny land cover proběhly v prvním sledovaném období 1990–2000, a to zejména na „východní“ straně železné opony, přičemž extrémní změny (na cca 8 % území) byly zjištěny právě pro český úsek hranice. V průměru se land cover v pohraniční zóně na „východní“ straně hranice změnil na cca 4 % území. Změny mezi lety 2000 a 2006 byly významně menší (na „východě“ průměrně na 0,6 % území) a v Česku opět nadprůměrné (nad 1,3 %). Velice stabilní bylo využití krajiny na rakouské straně hranice, kde ke změnám ani v jednom období prakticky nedocházelo. V pohraničí států na „východ“ od železné opony přitom dominoval přechod od orné půdy k pastvinám a keřová a další sukcesivní stadia vegetace se měnila v lesní plochy. Šlo tedy o zcela zřejmý proces extenzifikace a útlum hospodaření z důvodu nepříznivých přírodních podmínek, transformace zemědělství včetně změny dotačního systému (mj. v souvislosti s integrací Česka do struktur EU), změny vlastnických poměrů atd. Na jižní Moravě se regionálně specificky orná půda měnila ve velké míře na vinice a zemědělství přecházelo k intenzivnějším formám⁹¹. Pádem tzv. železné opony došlo k oslabení funkce hranice jako bariéry, což byl impulz pro rozvoj marginalizovaných/periferních příhraničních oblastí. Na „západní“ straně příhraničí naše analýza odhalila vznik nových rezidenčních komplexů včetně doprovodné infrastruktury a volnočasových a sportovních

89 <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

90 Myšleno v politickogeografickém smyslu – podle příslušnosti území k východnímu a západnímu bloku, nikoliv geograficky.

91 Tento proces jsme i v návaznosti na práci Rašín, Chromý (2010) dále sledovali s mým studentem v jeho bakalářské práci (Brůžek 2019), která s využitím dat družic Landsat 5 a 8 a Rapid Eye potvrdila v oblasti regionu Valticka další nárůst ploch vinic na orné půdě až do roku 2016, a to jak na české, tak na rakouské straně.

center. Jedním z metodických aspektů, které je třeba v tomto přístupu zohlednit, je minimální mapovací jednotka dat CLC – její rozloha je 25 ha (u změnových vrstev 5 ha). Je zřejmé, že data nezahrnují změny, které proběhly na menších plochách, a to může být v tomto případě, kdy změny byly často drobné, vnímáno jako zřejmé omezení databáze CLC.



Kupková, L., Ouředníček, M. (2013): Hodnocení intenzity, prostorového rozložení a dopadů suburbanizace v zázemí Prahy s využitím dat DPZ. In: Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J., eds.: Sub Urbs: krajina, sídla a lidé. Academia, Prague. 119–149. Kapitola v knize (autorský podíl: 80 %)

Dalším specifickým územím, kde jsme prováděli výzkum v několika zájmových oblastech zejména ve spolupráci s URRLAB a s podporou projektu MŽP ČR⁹², byla suburbaní zóna Prahy. I v tomto případě byly předmětem analýzy změny krajiny v průběhu post-totalitní transformace (v období 1990–2007), konkrétně v území na východním okraji Prahy⁹³. Předmětem zájmu byly tedy procesy zcela odlišné od těch, které byly studovány v předchozím článku.

K hodnocení změn ve využití krajiny byla opět použita data DPZ, ale tentokrát to nebyla převzatá databáze. Data z družice QuickBird a letecké snímky (ortofota) byly analyzovány jednoduchými, ale poměrně časově náročnými metodami. Jednalo se o manuální vektorizaci na základě vizuální interpretace snímků. Zpočátku jsme zkoušeli polo/automatické metody klasifikace obrazu (pixelovou, ale zejména objektově orientovanou klasifikaci), ale úspěšnost nebyla dostačující. Vzhledem k tomu, že jsme potřebovali data velice podrobná a přesná (v úrovni parcel, domů a změn v řádu desítek m²), aby bylo možné s jistotou odhalit i malé změny, nebyly méně přesné automatické metody extrakce využity. Přestože nebyla analyzována samotná databáze CLC, pracovali jsme s její legendou. Zejména proto, že je dostatečně podrobná a komplexní. Jak se ale ukázalo, pro účely rychle se měnícího suburbaního prostoru, kde se objevují některé specifické kategorie využití krajiny, bylo nutné legendu mírně modifikovat (například byla přidána kategorie „obnažené povrchy“, do níž byla zařazena staveniště). Navíc jedním z cílů bylo zjistit, do jaké míry suburbanizace v zájmovém území poškozují zeleň (lesy, mimolesní), takže byly vytvořeny zcela nové kategorie: liniová a solitérní vegetace.

Výsledky analýz ukázaly podle očekávání masivní nárůst rezidenční a komerční zástavby, umělých účelových povrchů, ale zejména právě obnažených povrchů. To svědčí o skutečnosti, že masivní výstavba v území nebyla v této době ukončena, ale na obnažených površích s velkou intenzitou probíhaly další budovatelské aktivity. A to téměř bezvýhradně na úkor orné půdy, která je v této oblasti vysoce kvalitní, a v důsledku popsanych aktivit dochází

92 Projekt MŽP ČR: Suburbaní rozvoj, suburbanizace a urban sprawl v České republice: omezení negativních důsledků na životní prostředí

93 Území zahrnovalo dvě okrajové části Prahy (Klánovice a Újezd nad Lesy) a pět obcí v okrese Praha-východ (Dobročovice, Jirny, Květnice, Šestajovice a Úvaly u Prahy).

k jejím nenávratným ztrátám⁹⁴. Pozitivním zjištěním bylo, že výstavba v suburbánní zóně Prahy v hodnoceném období neprobíhala na úkor lesů, jejichž rozloha se téměř nezmenšila. Enormní intenzitu změn dokládají hodnoty sumárních ukazatelů v jednotlivých katastrech. Podíl území, na němž došlo v období sledovaných 17 let k prostorové změně (jedna kategorie byla v prostoru nahrazena jinou), byl na území Květnice⁹⁵ téměř 23 %, v Šestajovicích 17 % a v Jirnech přes 11 %. Kromě záborů kvalitní zemědělské půdy byl dalším negativní doprovodným jevem rozvoj různých křovinných a sukcesních stádií rumištní vegetace v okolí stavenišť. Tato analýza tedy doložila rozvoj negativních jevů – negativní vliv na přírodní zdroje, rozvoj tzv. urban sprawl a zpevněných ploch v rozsáhlém měřítku a ze zjištěných závěrů jednoznačně vyplývá pochybení při plánování a povolování suburbánní výstavby (zejména v případě Jiren).

Kromě věcných zjištění jsou přínosy této publikace také v oblasti metodické. Jednak ve zmíněné úpravě klasifikační legendy Corine Land Cover a v tom, že takto definovaná legenda a zvolená metoda analýzy dat přinesly unikátní výstupy a detailní zjištění, která nebylo dosud možné získat s použitím jiných typů dat a automatické klasifikace⁹⁶.



Indrová, M., Kupková, L. (2015): Změny využití krajiny v suburbánní zóně Prahy v různých přístupech predikčního modelování. Geografie, 120, 3, 426–447.

WoS IF = 0,787 (autorský podíl: 50 %)

Data získaná v rámci analýzy pražského suburbánního prostoru představená v předchozím článku popisují na velice podrobné úrovni změny ve využití krajiny, které se odehrály v pražské suburbánní zóně v relativně nedávné minulosti – v období posttotalitní transformace, a nabízí se otázky, jakým tempem bude suburbanizace pokračovat dál, jakými směry se bude šířit, na úkor jakých kategorií využití krajiny apod. Zároveň vyvstává otázka možnosti regulace překotného vývoje a ochrany cenných prvků v tomto prostoru – přírodních zdrojů, jako jsou půda nebo lesy. Odpovědi na tyto otázky a možné scénáře vývoje v závislosti na nastavení různých omezení je možné hledat s využitím predikčních modelovacích nástrojů. Dvěma z nich – softwary Dyna-CLUE (DC) a Land Change Modeller (LCM)

94 Například východní část nově vzniklého logistického parku v obci Jirny je postavena na půdě nejvyšší bonity.

95 Květnice je typickým příkladem obce, kde se prakticky „na zelené louce“ rozvíjela rezidenční zástavba. Počet budov se zvýšil více než 5× (z 88 na 447) a tento proces byl doprovázen také významným nárůstem ploch zahrad (nárůst rozlohy o 38 % na téměř 19 % rozlohy obce v roce 2007). V Jirnech docházelo do značné míry také k rozvoji rezidenční zástavby, ale rozsáhlý prostor byl využit k rozvoji komerční zástavby.

96 Od roku 2007 nebyla tato suburbánní oblast ve stejné podrobnosti dále sledována, a proto byla vypsána bakalářské práce, která by měla zjistit, jak pokračoval rozvoj suburbanizace v následující době 11 let do roku 2018. Již nyní je jedno z území v okolí Prahy, kterému jsme se v rámci popsaného výzkumu také věnovali, analyzováno v rámci projektu NAKI MK ČR zaměřeného na rekonstrukci zaniklých krajín (<http://www.zaniklekrajiny.cz/atlas/index.php/vyvoj-vuziti-krajiny-6>).

jsme se zabývali v této studii, která je v rámci kapitoly 3.1 přechodovým můstkem mezi primárně empiricky zaměřenými příspěvky a studii, které jsou orientovány metodicky. Práce vychází z aktivit týmu LUCC Czechia, VCHG a URRLAB a diplomové práce M. Indrové⁹⁷, kterou jsem vedla. Můj podíl na této studii spočíval zejména v koncepčním vedení, vymezení cílů, příspěvku k vyhodnocení výsledků a kompletní přípravě samotného publikačního výstupu.

Cílem studie nebylo hledat přesnou odpověď na otázku, jaký vývoj oblast suburbánní zóny Prahy skutečně čeká, ale spíše ověřit a porovnat možnosti využití dvou nástrojů pro účely modelování v úrovni relativně malého zájmového území (několik katastrů o rozloze cca 2 000 ha). Doposud se totiž tyto nástroje využívaly pro území spíše řádově větší a jejich funkčnost a možnosti nikdo neporovnával.

Vývoj krajinných změn do roku 2020 byl simulován pro 5 zájmových katastrů (Čestlice, Dobřejovice, Modletice, Jažlovice a Průhonice). Vstupní data vycházela z prostorové databáze kategorií využití krajiny v letech 1994 a 2007, která byla získána vektorizací dat QuickBird, a z různých dalších prostorových vrstev využitelných pro predikci (BPEJ, územní plány, vrstevnice apod.).

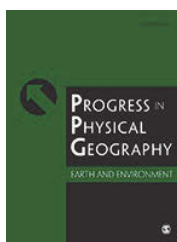
Byl vybrán volně dostupný (alespoň na omezenou dobu) software a zároveň takový, který disponoval poměrně širokým spektrem modelovacích funkcí. Přístup k modelování využití krajiny je v obou případech poměrně sofistikovaný – jak v případě LCM, tak DC⁹⁸. Pro predikci bylo stanoveno několik jednoduchých omezujících pravidel: (1) zákaz výstavby na půdě 1. kategorie třídy ochrany, (2) zákaz přeměny lesa a vodních ploch a (3) zákaz přeměny již zastavěného území v jiné kategorie krajinného pokryvu.

Hlavním zjištěním analýzy je, že výsledky modelování v obou softwarech byly do značné míry podobné. Restriktivní pravidla byla ve většině případů dodržena, naopak problémy se v případě obou predikčních nástrojů projevíly v souvislosti s umístěním nové zástavby, zejména komerční, v preferovaných místech. Komerční zástavba byla zároveň kategorie, jejíž simulovaná rozloha se u obou modelů nejvíce lišila. Z metodického hlediska lze konstatovat, že bylo určeno několik faktorů, které zkomplikovaly nebo naopak usnadnily práci s oběma modely. Pozitivně lze hodnotit především intuitivní práci s LCM a jasné definování všech požadavků u DC. Na druhé straně však práci zneprůjemnila velká nestabilita LCM a nutnost použít jiné programy a nemožnost vizualizovat výsledky při modelování v DC. Možná vylepšení obou programů jsou tedy v odstranění těchto nedostatků. Zásadní je zjištění, že oba modelovací nástroje lze bez problémů využít i v relativně malém území. Rok 2020 se blíží a v dohledné době budeme tedy moci ověřit, do jaké míry se namodelované predikce přiblížily skutečnosti⁹⁹.

97 Indrová (2012)

98 *Land Change Modeler for Ecological Sustainability (LCM)* je jedním z modelovacích modulů programu IDRISI, který byl uveden na trh v roce 2006. Jde o tzv. vertikální aplikaci, sloužící k analýze a predikci změn krajinného pokryvu/využití krajiny. Model využívá několik přístupů v různých krocích – například logistickou regresi, neuronovou síť či Markovovy řetězce. *Dyna-CLUE (Dynamic Conversion of Land Use and its Effects - DC)* byl vyvinut na Wageningen University and Research Centre v Nizozemsku. Model kombinuje logistickou regresi a informace ze sousedních buněk.

99 Pro modelování v relativně malém území (povodí Dřevnice) byl LCM využit následně například v práci Nedbala (2017), z metodického hlediska se na obecné úrovni modelováním velmi podrobně v poslední době ve svém review zabývali van Vliet et al. (2016).



Feranec, J., Solin, L., Kopecká, M., Ořahel, J., Kupková, L., Štych, P., Bičík, I., Kolář, J., Čerba, O., Soukup, T., Brodský, L. (2014): Analysis and expert assessment of the semantic similarity between land cover classes. *Progress in Physical Geography*, 38, 3, 301-327.

WoS IF = 2,728 (autorský podíl: 10 %)

Příspěvky zařazené v první části souboru vybraných studií vycházejí z několika prostorových databází LUCC, které využívají různé klasifikační legendy s různě definovanými kategoriemi. Databáze v prvních dvou studiích pracují s legendou vytvořenou v rámci našeho výzkumného týmu LUCC Czechia, která odpovídá vstupním datovým zdrojům a respektuje srovnatelnost kategorií využití krajiny v čase. Druhá studie využívá legendu klasifikačního systému Corine Land Cover. Tato legenda byla pro účely třetí a čtvrté studie modifikována tak, aby odpovídala potřebám specifického vývoje prostoru suburbánní zóny. Legenda systému CLC popisuje podrobně, komplexně a věrně kategorie land use / land cover, které lze v určité prostorové úrovni (odpovídající družicovým datům, z nichž byla připravena) detekovat/určit v evropské krajině. Data se široce využívají v mnoha studiích hodnotících krajinné změny (Feranec et al. 2007; Feranec et al. 2010; Bontemps et al. 2016; Kuemmerle et al. 2016, nově také např. Levers et al. 2018). Přesto i naše analýzy ukázaly, že pro specifické cíle je dobré stávající (a běžně využívanou) nomenklaturu do určité míry modifikovat (viz článek 4). Je zřejmé, že pro různé účely, regiony a prostory různých řádovostně-měřítkových úrovní a různé cíle vznikají více či méně univerzální nomenklatury.

Cílem této metodicky zaměřené studie bylo zhodnotit podobnosti/odlišnosti klasifikačních systémů dvou prostorových databází – jednak databáze Corine Land Cover (CLC) a dále databáze the National Land Cover Dataset (NLCD). Práce vznikla v rámci širokého týmu autorů z mnoha českých a slovenských pracovišť pod vedením J. Ferance z Geografického ústavu SAV, s nímž dlouhodobě spolupracujeme zejména v rámci IGU LUCC Commission¹⁰⁰. Uvedené dvě databáze byly zvoleny proto, že jsou často využívány pro mapování land use / land cover Evropy a USA. Metodickým přístupem hodnocení bylo expertní posouzení obsahového vymezení kategorií. Experti byli vybíráni tak, aby byli schopni odborně zhodnotit obsah / sémantickou podstatu hodnocených kategorií a také posoudit kontextuální vztahy mezi objekty kategorií. Jak uvádí Comber, Fischer, Wadsworth (2005), definice kategorií zahrnují většinou pouze koncepční a parametrické vlastnosti a expertní hodnocení nabízí komplexnější pohled než ten, který obdržíme pomocí statistického vyhodnocení¹⁰¹. Mým podílem na článku bylo expertní hodnocení, účast na přípravě metodiky a přípravě textu.

100 <http://lucc.zrc-sazu.si/Home.aspx>

101 Expertní zhodnocení ukázalo, že nejvyšší shodu ve smyslu konceptuální i sémantické podobnosti lze najít v kategoriích souvislá/intenzivní zástavba CLC111 (Continuous urban fabric) – NLCD22 (High Intensity Residential) a nesouvislá/řídka zástavba CLC112 (Discontinuous urban fabric) – NLCD21 (Low Intensity Residential). Dále v kategoriích led (ledovec) a sněh CLC335 (Glaciers and perpetual snow) – NLCD12 (Perennial Ice / Snow). Vysoká podobnost mezi CLC a NLCD 1992 byla také shledána v kategoriích popisujících lomy/doly a lesy. Naopak dle expertního hodnocení bylo nejvíce odlišností identifikováno u kategorií CLC231 (Pastures) – NLCD81 (Pasture/Hay) a CLC321 (Natural grasslands) – NLCD71 (Grasslands/Herbaceous). Přestože v obou klasifikacích systémech jsou názvy podobné, definice těchto kategorií jsou výrazněji odlišné. Liší se například v míře přírodního charakteru.

Pokud se týká hlavního cíle studie – metodického přínosu, je zásadní, že i přes určitou míru subjektivního pohledu, jehož se nevyvarují ani experti (Haimes 2012), přináší expertní hodnocení nesporné výhody proti matematicko-statistickému přístupu při hodnocení sémantických a konceptuálních aspektů LC nomenklatur. V závěru článku je zdůrazněna nutnost harmonizace jednotlivých klasifikačních systémů do budoucna například v rámci společné datové infrastruktury systému INSPIRE, přičemž expertní hodnocení srovnatelnosti kategorií LU a LC může v této aktivitě hrát důležitou roli.

Manakos, I., Tomaszewska, M., Gkinis, I., Brovkina, O., Filchev, L., Genc, L., Gitas, I. Z., Halabuk, A., Inalpulat, M., Irimescu, A., Jelev, G., Karantzalos, K., Katagis, T., Kupková, L., Lavreniuk, M., Mesaroš, M., Mihailescu, D., Nita, M., Rusnak, T., Stych, P., Zemek, F., Albrechtová, J., Campbell, P. (2018): Comparison of Global and Continental Land Cover Products for Selected Study Areas in South Central and Eastern European Region. *Remote Sensing*, 10, 12, 1967.

WoS IF = 3,406 (autorský podíl: 7%)



remote sensing

Poslední studie této části práce vznikla jako výstup aktivity širokého mezinárodního týmu v rámci evropské regionální sítě SCERIN¹⁰² a jde opět o studii metodicky zaměřenou. Částečně se v ní uplatnilo také expertní hodnocení (jako v článku předcházejícím) a ve středu zájmu byla mimo jiné již několikrát zmiňovaná prostorová databáze Corine Land Cover. Článek je zaměřený na porovnání několika často využívaných globálních a kontinentálních produktů (prostorových databází) land use / land cover a kromě zmíněného CLC byly srovnávány produkty Global Land Cover (GLC)¹⁰³, GlobeLand30 (GLOB)¹⁰⁴ a GMES/Copernicus Initial Operation High Resolution Layers (GIOS)¹⁰⁵. Cílem výzkumu bylo posoudit kvantitativní i kvalitativní nepřesnosti hodnocených produktů ve třinácti vybraných reprezentativních zájmových územích regionu SCERIN (střední a východní Evropa), který je charakterizován relativně značnou diverzitou krajiny, extrémními antropogenními vlivy na životní prostředí a uplatněním podobných hybných sociálních a ekonomických hybných sil. Zájmovým územím, pro něž jsem prováděla přípravu a vyhodnocení dat, byly Krkonoše. V rámci autorského týmu jsem se podílela také na přípravě některých zásadních metodických kroků a přípravě textu článku.

V rámci uvedených produktů byly hodnoceny do značné míry srovnatelné kategorie – orná půda, lesy, vodní plochy a antropogenní (nepropustné) povrchy. Srovnatelnost odpovídajících kategorií v jednotlivých databázích byla vstupním předpokladem, ale v tomto případě nikoliv předmětem hodnocení. Validace databází probíhala standardními metodami, kdy byly dle Foodyho (2009) pro každé zájmové území stanoveny příslušné počty validačních bodů (vážené dle podílů rozlohy jednotlivých kategorií), jejich výběr proběhl pro každou vrstvu náhodně.

102 South Eastern and Central Europe regional networks of the GOFC-GOLD panel. <http://csebr.cz/scerin/>

103 Hansen et al. (2013)

104 Chen et al. (2015)

105 Congedo et al. (2016)

Poté byly s využitím expertního hodnocení určeny shody s validačními produkty, jimiž byla ortofota nebo snímky WorldView-2. Následně byly vypočítány standardně používané ukazatele hodnocení přesnosti klasifikace – celková, uživatelská, zpracovatelská přesnost a Kappa koeficient (viz např. Foody 2002).

Studie přináší hodnotné reprezentativní výsledky ukazující specifické regionální rozdíly pro jednotlivá zájmová území z 9 zemí. Obecně lze konstatovat, že všechny čtyři analyzované prostorové databáze land use / land cover dosáhly vysoké celkové přesnosti: 74–98 % pro GLC (průměr: 93,8 %), 79–92 % pro GLOB (průměr: 90,6 %), 74–91 % pro CLC (průměr: 89 %) a 72–98 % pro GIOS (průměr: 91,6 %). Ve většině případů mělo nižší přesnost CLC, zatímco GLC nejvyšší, těsně následovaly produkty GIOS a GLOB. Studie potvrdila vysokou míru přesnosti a věrohodnost hodnocených produktů v lokální úrovni a jejich využitelnost v regionálních aplikacích rozdílných typů krajin. Dále přinesla i důležité informace a signál pro společnosti jako NASA, ESA i vědeckou komunitu DPZ, které je možné využít pro zvýšení kvality a konzistence produktů derivovaných z dat dálkového průzkumu Země.

Shrnutí

Mozaika analýz postavená jednak na datech databáze LUCC Czechia (2019) a na dalších výše zmíněných prostorových databázích (databáze CLC, databáze NLCD, GLC, GLOB a GIOS; vektorizací vytvořené prostorové databáze využití krajiny zájmových území z terénního mapování, leteckých nebo družicových snímků v úrovni parcel) v různých prostorových jednotkách a regionech různých měřítek včetně příspěvků zaměřených metodicky přinesla možnost detailně popsat, podrobně analyzovat a široce interpretovat zjištěné změny ve využití krajiny v kontextu činitelů, které změny způsobily (hybné síly politické, sociální, ekonomické, kulturní, přírodní a další). Zjištěné výsledky je možné do určité míry generalizovat, určit mezníky, typy a trendy vývoje. Provedené analýzy na druhou stranu umožnily odhalit i změny krajiny specifické pro určité regiony či dílčí časové horizonty. Z hlediska dalšího rozvoje geoinformatiky jsou pak cenné metodické poznatky, které tato část práce přinesla.

Jedním z hodnotných výstupů práce týmu LUCC Czechia je celosvětově unikátní Databáze LUCC Czechia (2019) postavená na statistických datech katastrální evidence v úrovni stabilních územních jednotek, která bude i nadále rozšiřována pro další časové horizonty (rok 2020). Z prezentovaných výstupů je zřejmé, že Databáze LUCC Czechia má zřejmá omezení (např. neukazuje prostorové změny uvnitř katastrů, změny ve využívání ploch jsou zanášeny s určitým zpožděním, v posledním období není z důvodu změny vlastnických vztahů katastrální evidence dostatečně aktualizovaná). Omezení je ale možné do značné míry kompenzovat kombinací databáze s dalšími zdroji dat, z nichž jsme vycházeli.

Zásadní výsledky, které přinesly analýzy různých prostorových databází v článcích 1–4, lze stručně shrnout následovně:

- Jednotlivá sledovaná období se lišila v míře a typech změn využití krajiny. Zatímco intenzita změn se v čase zvyšovala, hlavní zjištěné typy změn byly pro každé období specifické a lze je v obecné úrovni charakterizovat takto: první období (1845–1896) se odlišovalo zejména tím, že bylo jediným, kdy ještě docházelo na mnoha místech a v Česku celkově

k nárůstu rozlohy orné půdy a prakticky se neprojevovala urbanizace. Mezi lety 1896 a 1948 probíhaly nejpestřejší změny, mezi nimi převládalo zalesňování a rozvíjela se už i urbanizace. Období komunistické totality je z hlediska trendů změny velice unifikované, prakticky na celém území Česka docházelo k urbanizaci a zalesňování a důsledkem byly extrémní úbytky orné půdy. Horizont po roce 1990 je specifický tím, že ve větší míře poprvé za celé sledované období dochází k zatravňování. To bylo vedle zalesňování ovšem doprovázeno i silnou urbanizací. Stále tedy významně ubývá orná půda, a to v důsledku protichůdných procesů (zatravňování a zalesňování vs. urbanizace). Proces polarizace krajiny popisovaný v Evropě v posledních desetiletích více autory (Bürgi et al. 2017; Jepsen et al. 2015; van Vliet et al. 2015) se tedy prohlubuje i v Česku.

- Je obecně známo, že úrodná půda je v současnosti u nás a v Evropě i celosvětově velice ohroženým přírodním zdrojem (FAO 2011). Ztráty jsou způsobovány mimo jiné do značné míry právě změnami v jejím využívání, zejména nárůstem rozlohy zastavěných a trvale zpevněných ploch v důsledku různých komerčních aktivit, což potvrdily i studie 2, 4 a 5. Významný růst rozlohy zpevněných ploch je nebezpečný nejen z důvodu ztráty kvalitní půdy, ale také kvůli akceleraci odtoku vody z krajiny a ohrožení suchem v době globální klimatické změny (Sýkora, Ouředníček 2007; IPCC 2015; Trnka et al. 2017). Cílené zatravňování a zalesňování můžeme přitom naopak v současnosti v Česku považovat za procesy příznivé z hlediska ochrany krajiny i přírodních zdrojů obecně. Avšak, jak dokumentuje i náš výzkum (viz např. studie 2), v transformačním období dochází i v Česku ve zvýšené míře k opouštění půdy a vzniku tzv. nové divočiny (Lipský, Kopecký, Kvapil 1999; Lipský 2010), což je proces, který s sebou přináší v určitých fázích i negativní důsledky, jako je například šíření nepůvodní expanzivních druhů vegetace nebo snížení druhové diverzity (Lipský 2010; Lipský, Kukla 2012).
- Naše analýza dále ukázala, že na počátku sledovaného období se jako hybné síly ještě do určité míry uplatňovaly přírodní podmínky (viz např. Jeleček 2006), později hrály zásadní roli ekonomické, politické, technologické a sociální hybné síly. V souladu s mnoha publikacemi (Geist, Lambin 2002; van Vliet et al. 2015; Plieninger et al. 2016; Bürgi et al. 2017) naše výsledky potvrdily zásadní vliv *underlying* (působících z vyšších řádovostně-měřítkových úrovní) hybných sil, zejména politických a institucionálních specifických pro jednotlivá období. K nejdůležitějším patří: revoluce 1848–1849, průmyslová, zemědělská a dopravní revoluce a jejich dopady; první světová válka; zemědělská reforma 1920–1937; druhá světová válka; po roce 1948 znárodnění, centrálně plánovaná ekonomika, kolektivizace, industrializace; po roce 1989 návrat tržního hospodářství, privatizace, restituce majetku, vstup do EU. Identifikovány byly také některé hybné síly specifické pro území Česka: odsun německého obyvatelstva 1945–1947 a související vysídlení pohraničí, speciální dotační systém v době komunismu podporující intenzivní zemědělskou produkci na orné půdě v horských oblastech, střídání demokratických a totalitního systému atd.
- V rámci analýzy byla popsána regionální specifika (např. extrémní tlak na půdu v subur- bálních oblastech, opouštění půdy v periferních oblastech, rozvoj speciálních typů využití půdy, jako jsou plochy pro volnočasové aktivity v pohraničních oblastech) a jejich hybné síly a bylo potvrzeno, že v průběhu sledovaného období dochází postupně k regionální

diferenciaci, specializaci a vzniku typologických regionů. Každá územní jednotka neplní už jako dříve zejména funkce produkční (soběstačnost obyvatel, zejména potravinová), ale vznikají regiony se specifickými funkcemi (například rekreačními, komerčními, rezidenčními, specificky produkčními), které se výrazně specializují a probíhají v nich rozdílné typy změn (viz i naše další práce – například Bičík et al. 2012).

- Z výsledků studií v této části práce vyplývá, že území Česka bylo v období uplynulých 170 let skutečnou křižovatkou historických událostí, hybných sil a rozmanitých typů krajinných změn a že je tedy unikátním prostředím, které poskytuje cenné informace pro studium změn využití krajiny a jejich příčin v širším celoevropském kontextu. K tomu přispívá i cenný zdroj dat – Databáze LUCC Czechia (2019), bez něhož by toto hodnocení nebylo možné. Časové řady dat dávají možnost do určité míry predikovat i vývoj budoucí. Ten bude s největší pravděpodobností specifický v jednotlivých typologických regionech tak, jak tomu bylo i v minulosti, a povede k další diferenciaci a polarizaci (HAMPL 2005) prostoru. Klíčovými hybnými silami budou zejména činitelé působící na evropské úrovni, i institucionální a politické směřování na národní úrovni. Avšak globální faktory jako klimatická změna, znečištění, ohrožení biodiverzity či zajištění potravinové soběstačnosti se mohou také projevit. Poloha Česka „na střeše Evropy“ z hlediska vodní bilance je v době globálního oteplování a sucha zásadním faktorem, a pokud budou současné klimatické trendy pokračovat, je hrozba sucha zásadním faktorem a výzvou pro české zemědělství i využití a management krajiny (Brázdil, Trnka et al. 2015; Trnka et al. 2017). V dalším vývoji může hrát roli třeba i růst světové populace a zajištění dostatku potravin. To jsou faktory, které mohou i přes relativně méně příznivé podmínky pro zemědělské hospodaření u nás ve srovnání s některými zeměmi Evropy působit proti současným útlumovým procesům a vést třeba i k opětovnému obdělávání nyní opouštěné půdy. Podobné změny byly v historii zaznamenány, jak je zřejmé z literatury (Bičík et al. 2015; Fuchs et al. 2015a; Jepsen et al. 2015).

Za hlavní přínosy albertovských výzkumů dlouhodobých změn využití krajiny lze považovat jednak zmíněné vytvoření a rozvoj datové základny i výsledky samotných analýz a jejich zpřístupnění široké odborné i laické veřejnosti prostřednictvím rozsáhlých publikačních a prezentačních aktivit. Přístupy vycházející ze schematizovaného hodnocení dat databáze LUCC Czechia (akcentované ve studiích 1 a 2) jsou již částečně překonány a albertovský výzkum v oblasti land use / land cover change, jak ukazuje i tato práce, se v současnosti v rámci mezinárodních skupin orientuje na využívání moderních geoinformačních přístupů (viz i kapitoly 3.2 a 3.3) a aktuální výzkumná témata důležitá nejen na národní, ale i regionální či kontinentální úrovni, včetně témat metodických.

Pokud se týká příspěvku této části práce ke zdokonalení metod analýzy a obohacení geoinformačních přístupů – bylo potvrzeno, že perspektivními jsou přístupy zahrnující například využití kombinace různých typů a zdrojů dat, syntetická komplexní hodnocení trendů změn krajiny a jejích hybných sil, hodnocení změn v různých řádovostně-měřítkových úrovních a s různou mírou exponovanosti. Ne zcela očekávaně se jako vhodné v případě určitých specifických území a cílů (prostorově podrobná analýza dynamicky se rozvíjející suburbánní zóny) ukázalo využití metod vizuální interpretace a manuální vektorizace dat DPZ. Tento

klasický přístup umožnil získání podrobných unikátních výsledků, což byl v konkrétním případě hlavní požadavek.

Metodické aspekty studia změn LU a LC jsou akcentovány v článcích 5, 6 a 7, které přímo řeší srovnání některých přístupů, klasifikačních nomenklatur či přesnost vybraných prostorových databází. Predikce budoucího vývoje využití krajiny tvoří dnes širokou samostatnou výzkumně-aplikační oblast (Magliocca et al. 2015; Verburg et al. 2016; van Vliet et al. 2016) a každý příspěvek, který zpřístupní, otestuje a porovná vybrané predikční metody/modely, případně je aplikuje na jinou prostorovou úroveň, než je obvyklé (viz článek 5), má nesporný význam.

Jedním z již výše zmíněných přístupů využitých v této kapitole práce je kombinace dat prostorových databází. Pokud chceme různé databáze kombinovat, první problém, s nímž se setkáváme, je srovnatelnost jejich nomenklatur (klasifikačních legend), již se zabývá publikace 6. V současné době je vytvořeno a využíváno pro různé oblasti světa velké množství databází popisujících LU a LC, mnohé výzkumné skupiny se soustředí na jejich analýzu, možnosti využití a řeší otázky srovnatelnosti (viz např. Herold, Di Gregorio 2012; Feranec et al. 2002; Herold et al. 2016). Harmonizace nomenklatur bude nabývat na významu s tím, jak se bude zvyšovat počet aplikací a výzkumných témat, která využívají data DPZ, i s rozvojem nadnárodní datové struktury, jako je např. INSPIRE či GEO/GEOSS. Využívání dat DPZ je v současné době, kdy velké kosmické agentury vynakládají obrovské prostředky na pořízení dat, která jsou následně pro uživatele volně dostupná, zásadním zájmem a programem nejen kosmických agentur, ale i iniciativ, které širokou implementaci dat DPZ podporují – viz např. program Copernicus¹⁰⁶.

Pokud se týká validace produktů prostorových databází LUCC, je toto téma velmi aktuální nejen pro síť SCERIN, v rámci níž vznikla publikace 7, ale výsledky hodnocení mohou dát signál o relevanci posuzovaných produktů / prostorových databází široké komunitě odborníků a přispět k celkovému zlepšení kvality výstupů odvozených z dat DPZ využívaných k hodnocení krajiny, ekosystémů či přírodních procesů v regionu střední a východní Evropy i mimo něj. Cílem tohoto úsilí je opět přispět k širšímu celosvětovému využívání dat DPZ propagovanému z řad poskytovatelů dat i výše zmíněných iniciativ typu Copernicus. Na tuto výzvu reaguje i náš výzkum v rámci týmu LUCC Czechia v tom smyslu, že jedním z hlavních směrů jeho rozvoje je aktuálně široké využití dat a technologií dálkového průzkumu Země, jak dokladují naše recentní publikace (Štych et al. 2012b; Štych, Míček, Kříž 2015; Feranec et al. 2017; Kupková et al. 2017; Kupková et al. 2018) i kapitola 3.2 a 3.3 této práce.

Význam výsledků představených v této části práce je nesporně i v tom, že jsou v mnoha případech využitelné také prakticky. Například pro plánování budoucího rozvoje exponovaných či naopak periferních oblastí, ochranu krajiny, přírody a jejich cenných zdrojů a s tímto záměrem byly výsledky prezentovány na mnoha odborných i širších fórech nebo stránkách některých popularizačních časopisů (Geografické rozhledy) či ve výuce na PŘF UK nebo i workshopech organizovaných pro organizace státní ochrany přírody. Metodická zjištění mají potom význam především pro odbornou komunitu a mohou přispět k efektivnějšímu

106 <http://copernicus.gov.cz/>

využívání dat a metod například v rámci mezinárodních sítí, do nichž jsme zapojeni, nebo odborných programů a společností či ministerstev a jejich resortních organizací. Tam se dostanou třeba prostřednictvím aplikovaných projektů, zaměřených na tzv. capacity building¹⁰⁷, na nichž jsem spolupracovala.

.....

107 Projekt FP7: GEO Network for capacity building (GEONETCAB), projekt FP7: Earth Observation for Economic Empowerment (EOPOWER), projekt TAČR TITSMZP709: Přehled stavu a možností využití DPZ v rezortu MŽP

3.2 Monitoring stavu a změn horských ekosystémů s využitím multispektrálních a hyperspektrálních obrazových dat DPZ

Publikace zařazené do druhé části souboru vybraných studií vznikly v rámci spolupráce dvou pracovišť PřF UK – týmu z katedry aplikované geografie a geoinformatiky (KAGIK) zaměřeného na dálkový průzkum Země a z týmu Laboratoře ekofyziologie rostlin vedeného J. Albrechtovou z katedry experimentální biologie rostlin (KEBR). Velký význam měla též mezinárodní spolupráce s týmem z Varšavské univerzity v Polsku (Department of Geoinformatics, Cartography and Remote Sensing) vedeným B. Zagajewským. S B. Zagajewským jsme v roce 2012 získali mezinárodní projekt EUFAR¹⁰⁸, v rámci něhož byla nasnímána hyperspektrální obrazová data leteckým senzorem APEX¹⁰⁹ pro českou i polskou část Krkonoš. Hyperspektrální data se poté stala důležitým vstupem pro analýzy land cover krkonošské tundry. Články v této části práce dále vycházejí z výzkumu krkonošské tundry v rámci projektu GAUK¹¹⁰. Oba projekty byly zaměřeny na monitoring vegetace v Krkonoších z obrazových dat DPZ. Důležitá proto byla podpora Správy Krkonošského národního parku, konkrétně oddělení botaniky, s nímž byly v rámci diskuzí řešeny možnosti propojení přístupů botanických a geoinformačních (hlavně otázka tvorby legend pro klasifikaci vegetace a sběru podpůrných dat v terénu).

V kapitole jsou zařazené celkem 3 studie, které dokumentují využití obrazových dat DPZ s různým prostorovým, spektrálním a časovým rozlišením, a to s cílem co nejpřesněji detekovat/klasifikovat/odlišit vybrané kategorie vegetace v zájmovém území, případně vyhodnotit změny v pokryvnosti či míru narušení/poškození vegetace/porostu.

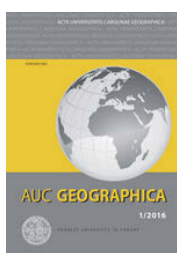
První dvě studie se věnují konkrétně klasifikaci současného/aktuálního land cover v unikátním ekosystému reliktní krkonošské tundry, třetí studie se zaměřila na oblast Krušných hor, kde jsme analyzovali vývoj poškození smrkových porostů ve druhé polovině 20. století. V těchto zájmových územích reagoval náš výzkum na určité ohrožení nebo změny vegetace, resp. celého ekosystému a snažil se zdokumentovat současný/aktuální stav jako „odrazový můstek“ pro monitoring do budoucna nebo analyzovat vývoj. Do analýz vstupovalo poměrně široké spektrum obrazových dat DPZ (data dvou hyperspektrálních senzorů, šesti multispektrálních senzorů a ortofota s infračerveným pásmem). V případě prvních dvou článků, které na sebe navazují, bylo důležitým cílem zjistit, které parametry dat jsou zásadní pro dosažení co nejpřesnějších výsledků klasifikací (zda je rozhodující prostorové nebo spektrální rozlišení). Zároveň jsme testovali několik aktuálně nejpoužívanějších automatických metod klasifikace land cover opět s cílem určit, které v případě ekosystému tundry přinesou nejpřesnější výsledky. Záměrem výzkumu bylo doporučit správě KRNAP vhodná data a metody analýzy pro monitoring území nad horní hranicí lesa. V procesu hledání optimálního metodického postupu byl důležitou součástí výzkumných aktivit také návrh klasifikační legendy jednak

108 Projekt EUFAR (European Facilities for Earborne Research – <https://www.eufar.net/>): Hyperspectral Remote Sensing for Mountain Ecosystems (HyMountEcos)

109 <http://apex.vgt.vito.be/>

110 Projekt GAUK 938214: Využití dálkového průzkumu Země pro klasifikaci vegetace nad horní hranicí lesa v Krkonošském národním parku. Projekt pod vedením mým a J. Albrechtové řešily v letech 2014–2016 moje dvě doktorandky (R. Suchá a L. Červená).

vyhovující požadavkům botaniků, jednak respektující fyzikální podstatu dat DPZ. V případě třetího článku byly hodnoceny změny land cover smrkových porostů v Krušných horách z časové řady dat od roku 1985 do roku 2016 (viz kapitola 2.3) a pro analýzu změn z multispektrálních dat DPZ byly využity složitější algoritmy zahrnující například práci s pásmy obrazu. Výsledky hodnocení byly vztaženy k faktorům, které změny rozlohy a stavu lesů způsobily. Analýza navazovala na projekt INMON, který je více přiblížen v textu k následujícímu článku (článek 9).



**Suchá, R., Jakešová, L., Kupková, L., Červená, L. (2016):
Classification of vegetation above the treeline in the Krkonoše
Mts. National Park using remote sensing multispectral data. AUC
Geographica, 51, 1, 113–129. SCOPUS (autorský podíl: 30 %)**

Reliktní arкто-alpínská krkonošská tundra je unikátní, stanovištně pestrý, relativně přirozený ekosystém. Důležitými ochrannými výzvami souvisejícími s krkonošským bezlesím jsou zejména rozrůstání klečových keřů na úkor smilkových travníků (pro shrnutí viz Harčarik 2007) a rozrůstání konkurenčně silných travin *Molinia caerulea* a *Calamagrostis villosa* (Hejcman et al. 2009; Hejcman, Češková, Pavl 2010). Biotopy nad horní hranicí lesa jsou velmi citlivé a jejich změny proto mohou probíhat překvapivě rychle. Důležitý je tedy jejich monitoring a získání kvalitních podkladů pro diskuzi ohledně možností a způsobu managementových zásahů. Dosavadní vegetační monitoring v nejvyšších polohách Krkonoš byl však pro účely managementových opatření příliš „hrubozrnný“ (viz např. mapování biotopů Natura 2000¹¹¹). Jakýkoliv jemnozrnnější a přitom velkoplošný monitorovací přístup se však musí vypořádat se dvěma zásadními obtížemi. První je subjektivita mapování při terénních průzkumech a druhou je nedostatek časového prostoru pro jeho opakované provádění. Proto se na nás obrátili kolegové ze Správy KRNAP Vrchlabí s žádostí o ověření možnosti využít metody DPZ, které umožňují opakovatelné, spolehlivé a relativně rychlé mapování rozsáhlých území. DPZ totiž bylo předtím využíváno v Krkonoších velmi sporadicky (např. Müllerová 2005).

Cílem této studie bylo testovat využitelnost několika druhů dat DPZ nasnímaných v letech 2012–2014 a různých metod klasifikace pro účely monitoringu vegetace v tundře. V rámci výše zmíněného projektu GAUK byla pořízena komerční družicová data WorldView-2 (WV-2) s vysokým prostorovým (2 m) a spektrálním (8 pásy) rozlišením. KRNAP dále poskytl ortofota se čtyřmi pásy (RGB a NIR) a prostorovým rozlišením 12,5 cm. Jako doplňkový datový zdroj byly využity snímky družice Landsat 8, přestože jsme předpokládali, že prostorové rozlišení (30 m) nebude zcela dostatečné. Výhodou však je, že data Landsat 8 jsou volně dostupná a mají vysoké časové rozlišení (16 dní). Data byla analyzována třemi metodami řízené klasifikace per-pixel (*Maximum Likelihood* – MLC, *Support Vector Machine* – SVM a *Neural Net* – NN) a také metodami objektové klasifikace. Metodickou výzvou bylo vytvoření klasifikační legendy tak,

111 <http://www.nature.cz/natura2000-design3/hp.php>

aby vyhovovala botanikům a zároveň bylo možné jednotlivé kategorie v datech DPZ spektrálně odlišit. Ve spolupráci s botanikem¹¹² byly nakonec vytvořeny legendy dvě, různě podrobné. Podrobnější legenda pro ortofota a data WV-2 a zjednodušená legenda, primárně pro data Landsat. Pro srovnání byla zjednodušená legenda využita i pro další dva datové zdroje. Ve spolupráci s botanikem byla také v terénu nasbírána podpůrná data pro trénování a validaci klasifikací (polygony vymezující výskyt jednotlivých typů vegetace pro kategorie klasifikační legendy).

Pro obě legendy bylo nejvyšších celkových přesností klasifikace dosaženo v případě analýzy ortofota (83,56 % pro zjednodušenou a 71,96 % pro detailní legendu), a to objektově orientovaným přístupem. Data Landsat byla nejlépe klasifikována s využitím metody MLC (celková přesnost 78,31 %) a lze konstatovat, že jsou využitelná pro hrubší klasifikaci základních kategorií land cover nad horní hranicí lesa. Porovnáme-li všechny datové zdroje s různým prostorovým a spektrálním rozlišením, přinesl náš výzkum zjištění, že velmi důležité pro dosažení vysoké přesnosti klasifikace je v případě vegetace krkonošské tundry (poměrně ohraničená společenstva se zřetelně odlišnou strukturou a rozdílným spektrálním projevem, v případě travin často monodominantní porosty) zejména vysoké prostorové rozlišení dat.



Kupková, L., Červená, L., Suchá, R., Zagajewski, B., Březina, S., Albrechtová, J. (2017): Classification of Tundra Vegetation in the Krkonoše Mts. National Park Using APEX, AISA Dual and Sentinel-2A Data. European Journal of Remote Sensing. 50, 1, 29–46. IF = 1,173 (autorský podíl: 40 %)

Tento článek tematicky navazuje na předchozí studii, kterou rozšiřuje v tom smyslu, že pracuje i s dalšími typy dat a testuje možnosti jejich využitelnosti pro účely přesné klasifikace vegetace krkonošské tundry. Cílem bylo opět určit, která data a metody analýzy přinesou nej přesnější výsledky klasifikace vegetace v krkonošské tundře. Do analýzy vstupovala jednak další multispektrální data – tentokrát snímek družice Sentinel-2A (S-2A) z roku 2015 s relativně dobrým prostorovým (základní pásma 10 m), spektrálním (13 pásem) i časovým (10 dní) rozlišením. Stejně jako například WV-2, mají data S-2A tzv. RedEdge pásma, která jsou speciálně navržena pro účely klasifikace vegetace. Kvalitativní posun, pokud se týká spektrálního rozlišení, přinesla data dvou leteckých hyperspektrálních senzorů. Data senzoru APEX byla získána v srpnu 2012 v rámci výše zmíněného projektu EUFAR, mají 288 pásem a prostorové rozlišení 2–5 m. Druhým hyperspektrálním senzorem byla AISA-DUAL. Snímky pořízené v roce 2013 se spektrálním rozlišením 494 pásem a prostorovým rozlišením 1–3 m poskytla Správa KRNP. V analýzách byly opět využity obě legendy. Na základě detailní legendy byly klasifikovány všechny 3 typy dat pixelovou (stejnými metodami jako v předchozím článku) i objektovou klasifikací. Na hyperspektrální data byla před klasifikací aplikována metoda hlavních komponent (Principal Component Analysis – PCA) a do klasifikací vstupovala jednak

112 V KRNP spolupracujeme zejména s botanikem S. Březinou.

všechna pásma obrazu a dále na základě testování také vždy pouze určitý počet výstupních transformovaných pásem z PCA. Zjednodušená legenda byla využita pro data Sentinel a klasifikaci per-pixel. Podle očekávání byl land cover nad horní hranicí lesa s nejvyšší celkovou přesností (84,3 %) klasifikován z dat AISA-DUAL (metodou SVM, 40 pásem z PCA). Přesnost dat byla ovšem pouze nepatrně vyšší než v případě využití ortofot klasifikovaných v předchozí studii. Významné zvýšení spektrálního rozlišení tedy zásadně nepřispělo ke zlepšení přesnosti klasifikace. Pokud se týká dat S-2A, tak podobně jako v případě dat Landsat 8 bylo nejvyšší přesnosti dosaženo metodou MLC. Celková přesnost (77,7 %) byla nepatrně nižší než v případě dat Landsat 8. Lepší prostorové rozlišení a speciální pásma RedEdge u dat S2-A předpokládané zlepšení v tomto případě nepřinesly.

V obou studiích byla vegetace tundry klasifikována z každého typu dat pouze v jednom časovém termínu. Bylo to dáno především omezenou dostupností dat DPZ, resp. cenovou náročností pořízení leteckých hyperspektrálních dat. V dalších letech se ale zejména s vypuštěním družice Sentinel-2B (S-2B) v březnu 2017 zlepšilo časové rozlišení volně dostupných dat a nyní je možné získat několik bezoblačných snímků z tandemu družic S-2A a B v průběhu sezóny i v tak klimaticky nepříznivých podmínkách, jaké panují v Krkonoších. Od roku 2017 jsou navíc pro akademickou sféru volně dostupná data systému PlanetScope¹¹³, který představuje špičku, pokud se týká časového rozlišení dat DPZ. Tyto družice nasnímají každý den celou zemskou pevninu s prostorovým rozlišením 3 m a i přes relativně nízké spektrální rozlišení (pouze pásma RGB + NIR) jsou cenným zdrojem informací pro analýzy změn – change detection (Abhishek 2012; Hussain et al. 2013; Gómez, White, Wulder 2016). Zejména sezónní časové řady dat mohou pomoci ke zpřesnění klasifikací i v případě vegetace tundry, pro níž je typické, že spektrální projev některých druhů je v průběhu sezóny proměnlivý¹¹⁴.

Obě studie věnované tundře vychází z kontaktů, které jsem v minulosti navázala v KRNAP, a jsou dílem širšího týmu autorů, který jsem koordinovala. Můj podíl spočíval v několikaleté koncepční diskuzi s kolegy ze správy KRNAP o možnostech využitelnosti DPZ a testování přístupů, terénním sběru dat, analýze dat, vyhodnocení výsledků i zásadním podílu na přípravě textu článků. Návrh metody klasifikace vegetace krkonošské tundry nebyl zatím dokončen a výzkum bude dále pokračovat – viz shrnutí této kapitoly.

113 <https://www.planet.com/>

114 Toho jsme využili ve dvou kvalifikačních pracích (bakalářské a diplomové), jimiž navazujeme na výše zmíněné články (v obou případech jsem školitelkou). Bakalářská práce M. Roubalové (Roubalová 2017) využívala časovou řadu dat S-2A, B pro klasifikaci vegetace východní tundry. V diplomové práci bude M. Roubalová vycházet z tříleté časové řady dat PlanetScope s cílem zjistit, s jakou přesností je tímto přístupem možné rozlišit v oblasti východní tundry tři druhy travin (*Molinia caerulea*, *Calamagrostis villosa* a *Nardus stricta*), z nichž první dva v krkonošské tundře expandují právě na úkor třetího – smilky šedé (*Nardus stricta*).

Kupková, L., Potůčková, M., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2018): Forest cover and disturbance changes, and their driving forces: A case study in the Ore Mountains, Czechia, heavily affected by anthropogenic acidic pollution in the second half of the 20th century. *Environmental Research Letters*, 13, 9. IF = 4,541 (autorský podíl: 35 %)

Environmental Research Letters

Vedle heterogenního relativně přirozeného ekosystému krkonošské tundry jsme z horských ekosystémů věnovali pozornost také člověkem silně ovlivněným relativně homogenním lesním porostům v Krušných horách (převážně monokulturální jehličnatý les). Společná práce týmů z KAGIK a KEBR byla podpořena projektem MŠMT NPUI¹¹⁵. Protože naším cílem bylo vyhodnotit vývoj porostů poškozených v důsledku antropogenního znečištění (především imisní zátěž v 70. a 80. letech 20. století), bylo nutné využít co nejdelší časovou řadu dat. Tento požadavek splňují pouze archivní data systému družic Landsat. K dispozici bylo 19 bezoblačných scén družic Landsat 4, 5, 7 a 8 pro období mezi lety 1985 až 2016 (z květnových až zářijových termínů).

Hodnotili jsme jednak změny pokryvnosti/rozsahu jehličnatých porostů. K tomu sloužil tzv. Vegetation Change Tracker (Huang et al. 2010) algoritmus. Na základě časového průběhu normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (NDVI) a neřízené klasifikace pod maskou lesa (vytvořenou na základě databáze Corine Land Cover) byla definována homogenní kategorie vzrostlého jehličnatého lesa a ta byla využita pro normalizaci scén Landsat při výpočtu tzv. integrovaného lesního skóre (Huang et al. 2010). To umožňuje rozlišení stabilního lesa od ploch, které byly odlesněny nebo nově zalesněny. Dále byl hodnocen také vývoj poškození lesa, a to prostřednictvím tzv. disturbančního indexu (Haeley et al. 2005), který je založen na předpokladu, že pokácený (poškozený) les vykazuje vyšší hodnoty tzv. *brightness* parametru a nízké hodnoty parametrů *greenness* a *wetness*. V této práci nezůstáváme tedy pouze u prostorové klasifikace krajinného pokryvu, ale obrazová data DPZ (operace s jejich pásmy) nám slouží také k derivaci indikátorů, které svědčí do určité míry o stavu vegetace a jeho proměnách v čase. Využití zmíněných indikátorů s sebou přineslo i řešení dalších metodických otázek spojených s nastavením prahových hodnot, resp. samotnou definicí lesa a jeho poškození. Přínos článku lze spatřovat též ve využití dlouhé časové řady dat DPZ¹¹⁶, která pomohla identifikovat zlomy jak v rozsahu zalesnění, tak v míře poškození lesa. Tyto zlomy, které nastaly v letech 1994 (byla identifikována nejnižší rozloha lesa) nebo 2005 (nárůst už dále nepokračoval), jsou v článku diskutovány v kontextu širokého spektra hybných sil (zejména antropogenního původu), které vedly k poškození lesa a jeho následnému zotavování (například těžba a industrializace, kolaps komunistického režimu, odsíření tepelných elektráren, legislativa atd.). Významným zjištěním pro současnost a budoucnost lesů v Krušných horách je, že jejich stav nebyl dosud zcela stabilizován. Staré zátěže (zejména kyselá půdní depozice) ve spojení s novými negativními faktory (např. extrémní klimatické epizody, globální změna klimatu, škůdci – houba kloubnatka *Gemmomyces piceae*) jsou trvalým ohrožením a náš výzkum poukázal na stále aktuální potřebu ochrany lesů v Krušných horách při jejich managementu

115 Projekt MŠMT NPUI LO1417: Centrum experimentální biologie rostlin UK

116 Tzv. multitemporální přístup/change detection dnes běžně využívaný v DPZ – Hussain et al. 2013; Gómez, White, Wulder 2016; Ban, ed. 2016.

i na opodstatnění dalších investic, například v rámci Programu revitalizace Krušných hor¹¹⁷. Zároveň potvrdil vhodnost využití časové řady dat Landsat a metody change detection, i když s určitým omezením, protože časová řada nebyla zcela kompletní z důvodu nedostupnosti bezoblačných scén v některých letech.

V případě tohoto článku můj přínos spočíval v podílu na designu výzkumu, vyhodnocování výsledků analýz a souvislostí změn s hybnými silami a do značné míry jsem se podílela na přípravě textu.

Shrnutí

V kapitole 3.2 byly na rozdíl od kapitoly 3.1 využívány pro analýzu cenných i poškozených složek krajiny/ekosystémů primární zdroje geoinformačních dat. Jednalo se o multispektrální a hyperspektrální obrazová data získaná metodami DPZ. Ačkoliv multispektrální data se pro analýzy vegetace široce využívají již cca 40 let (Curran 1980; Hamlyn, Vaughan 2010), v případě krkonošské tundry jsme je pro komplexní klasifikaci land cover zaměřenou speciálně na vegetační kategorie použili poprvé. Hyperspektrální letecká data navíc byla a dodnes jsou využívána velmi omezeně a pouze pro vybraná území (zejména proto, že jejich pořízení je nákladné). Jejich nasnímání v rámci projektu EUFAR bylo cenným přínosem pro náš výzkum a výsledky jejich analýzy jsou nejpřesnějším dosaženým klasifikačním výstupem, výchozím horizontem monitoringu, který bude v krkonošské tundře nadále pokračovat.

I obrazová data DPZ mají svá omezení. Kromě oblačnosti, kterou mohou obsahovat, a nutnosti provést několik typů korekcí je zásadním faktorem komplikujícím jejich analýzu podobné spektrální chování některých objektů, které vede za současného stavu poznání (jak vědeckého, tak technického) a vlastností dat k omezené přesnosti výstupů analýz. Hyperspektrální letecká data navíc vyžadují přípravu a realizaci náročné pozemní podpůrné kampaně, speciální, relativně komplikované předzpracování, nevýhodou může být i jejich značná dimenzionalita a autokorelace a informační redundance úzkých navazujících pásem. Většinu těchto problémů ale řeší pokročilé, často speciální metody jejich předzpracování a analýzy (Thenkabail, Lyon 2011; Pu 2017).

Metody analýzy primárních dat DPZ se do značné míry liší od metod, které byly využity při hodnocení sekundárních dat v kapitole 3.1, a také získaná informace má jiný charakter. Je zřejmé, že data pro rozsáhlá území je možné získat v rámci relativně krátkého času (cca několik minut) a lze z nich extrahovat nejen informace polohové (jaký objekt/pokryv je na jakém místě), ale do určité míry i stavové (v jakém stavu objekt je). Analýzy jsou většinou automatické či poloautomatické, objektivní, opakovatelné. V případě klasifikace obrazu je možné v závislosti na vlastnostech dat i analyzovaného území vybírat z poměrně široké škály klasifikátorů v rámci per-pixel nebo objektového přístupu. Přesnost získané informace závisí na již zmíněném stavu poznání a vlastnostech pořízených dat a do značné míry též na kvalitě vstupních trénovacích dat z terénu (Huang, Davis, Townshend 2002; Foody, Mathur 2004,

117 <http://eagri.cz/public/web/mze/lesy/lesnictvi/koncepce-a-strategie/program-revitalizace-krusnych-hor-1/program-revitalizace-krusnych-hor.html>

2006). Sběru trénovacích a validačních dat jsme stejně jako tvorbě legend věnovali velkou pozornost, a to přímo ve spojení s botaniky KRNAP.

Výše uvedené dokládá, že interdisciplinární přístup – propojení geoinformatiky a botaniky – se osvědčil a naše spolupráce s kolegy z KRNAP i nadále pokračuje¹¹⁸. Zajímavý metodický posun a novou dimenzi spolupráce s KRNAP by mělo v následujících letech přinést využití hyperspektrální kamery¹¹⁹ pro RPAS případně i v kombinaci s laserovým skenerem¹²⁰, které si náš tým pořídil v roce 2018. Zařadili jsme se tak k rychle se rozrůstající komunitě, která tuto moderní technologii ve výzkumu vegetace využívá. Konkrétní typy senzorů, kterými disponujeme, jsou v Česku dosud zcela ojedinělé (hyperspektrální kameru pro RPAS této kvality u nás nikdo další k dispozici nemá). Snímání s pomocí RPAS se přitom velice rychle rozvíjí (Zhang, Kovacs 2012; Lambert et al. 2018) a je perspektivní právě i pro detailní vegetační studie, protože nabízí zvýšení prostorového rozlišení na řád desítek i jednotek centimetrů v kombinaci se spektrálním rozlišením v řádu cca tří stovek pásem. Tyto vlastnosti dat a operativnost zařízení (možnost snímání dat kdykoliv za vhodného počasí v časové řadě několikrát v průběhu sezóny) by měly vést k významnému zlepšení přesnosti klasifikací i získání nových zkušeností a kvalitních výstupů. Ve výsledku cílíme na návrh metodiky monitoringu vegetace krkonošské tundry z dat DPZ nasnímaných pomocí RPAS. Metodika by měla být pro účely monitoringu v KRNAP převedena do operačního módu. Využití našich výstupů pro praxi ochrany přírody a úzkou spolupráci s KRNAP považujeme za jeden z nejvýznamnějších výstupů této části práce. K přínosům patří dále zejména prokázání vhodnosti využití moderních přístupů DPZ pro monitoring vegetace v unikátním prostředí krkonošské reliktní tundry.

Třetí studie zařazená do této kapitoly cílí částečně také do praxe, zejména tím, že potvrdila nestabilitu a přetrvávající ohrožení lesů v Krušných horách. Jejím specifickým oproti dvěma studiím z oblasti tundry je využití časové řady archivních dat. Vedle automatických klasifikací byly v této studii aplikovány i metody postavené na operacích s obrazovými pásmy či prahování dat, které umožňují extrahovat zmíněnou kvalitativně novou informaci o stavu objektu – poškození/disturbanci/narušení porostů. Tato studie do určité míry navazuje na kapitolu 3.1, protože jsou analyzovány i příčiny/hybné síly, které ke změnám (využití) krajiny vedly. Zároveň je ale i přechodem mezi kapitolou 3.2 a 3.3, v níž je hodnocen stav vegetace nejen s využitím analýzy obrazových dat DPZ, ale také s pomocí dalších typů dat a metod.

118 Spolupráce momentálně pokračuje například formou řešení několika diplomových prací pod mým vedením, které mají přispět k optimalizaci trénovacího a validačního datasetu, ať již přímo pro vegetaci Krkonoš (Hromádková 2016), nebo v obecné rovině (Chytilová, v přípravě). Další diplomové práce využívají pro testování možného zvýšení přesnosti klasifikace výše zmíněné časové řady dat (Roubalová, v přípravě) i laboratorní měření spekter vybraných druhů vegetace (Tomcová, v přípravě).

119 Headwall Nano-Hyperspec (<http://www.analytik.co.uk/wp-content/uploads/2016/03/nano-hyperspec-datasheet.pdf>)

120 Riegl miniVUX-1UAV: <http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/riegl-minivux-luav/>

3.3 Hodnocení stavu vegetace s využitím spektroskopických dat a laboratorních analýz

Poslední část věnovaná mému vlastnímu výzkumu vychází ze studií, které vznikaly především opět ve spolupráci kolegyň ze dvou kateder PřF UK – KAGIK a KEBR v rámci Výzkumného týmu laboratorní a obrazové spektroskopie¹²¹. První článek této části je výstupem projektu GAČR¹²², který vedla V. Kopačková z České geologické služby. V projektu, který se v letech 2009–2012 věnoval hodnocení dopadů důlní činnosti na životní prostředí v Sokolovské hnědouhelné pánvi a využíval hyperspektrální data, bylo naším úkolem analyzovat zdravotní stav/poškození vegetace. Další dvě práce vznikly v rámci mezinárodního projektu MŠMT INMON¹²³ pod vedením J. Albrechtové. Cílem projektu bylo využít data a metody laboratorní a obrazové spektroskopie pro monitoring zdravotního stavu smrkových porostů v Krušných horách. Partnerkou projektu byla za USA P. E. Campbell z University of Maryland a NASA Goddard Space Flight Center (GSFC). Navazovali jsme na její výzkum, který společně s J. Albrechtovou pod vedením B. Rocka (University of New Hampshire) analyzoval v rámci projektu NASA¹²⁴ stav lesních porostů v Krušných horách v letech 1997–2000¹²⁵, v Česku zcela poprvé s využitím obrazových hyperspektrálních dat (senzor ASAS vyvinutý v NASA GSFC byl dopravený z USA v roce 1998).

Primární data využitá ve studiích v této části práce byla získána především metodami laboratorní spektroskopie, ať již měřením s využitím kontaktní sondy (11, 12, 13) nebo integrační sféry (článek 13) připojené k laboratornímu spektroradiometru ASD Field Spec 4 Wide-Res. Ve všech studiích byla dále využita speciální neprostorová data získaná na základě laboratorních analýz listoví, která charakterizují biochemické nebo biofyzikální parametry vegetace (obsah chlorofylu, karotenoidů, ligninu nebo množství vody; Albrechtová, Kupková, Campbell, eds. 2017). Na úrovni listoví byly potom s pomocí empirických modelů analyzovány vztahy (hledány závislosti) mezi biochemickými/biofyzikálními parametry vegetace a spektrálními daty. Zjištěné závislosti byly vyhodnoceny, případně „přeneseny“ na úroveň koruny nebo porostu. Cílem výzkumu bylo buď nalezení samotného funkčního vztahu nebo posouzení zdravotního/fyziologického stavu/stresu vegetace v oblastech poškozených těžbou a průmyslovou činností nebo znečištěním ovzduší či kontaminací půdy (hnědouhelná Sokolovská pánev, Krušné hory). Poslední studie je pak specifická v tom, že je zaměřená metodicky. Hledali jsme v ní odpověď na otázku, která je důležitá pro metodiku laboratorního měření spektrálních dat, zda a do jaké míry jsou srovnatelná spektra měřená kontaktní sondou a integrační sférou.

121 Tým vznikl v roce 2012 zejména díky přístrojovému vybavení pořízenému z projektu FRVŠ (861/2012/A/a: Laboratoř pro zpracování hyperspektrálních dat), které nám umožnilo rozvíjet tyto speciální metody DPZ, s nimiž jsem se seznámila v rámci své stáže na Univesity of Twente v Holandsku v roce 2010 (ITC Enschede – kurz: Hyperspectral Remote Sensing).

122 Projekt GAČR 205/09/1989: Assessment of Mining Related Impacts Based on Utilization of ARES Airborne Hyperspectral Sensor (HYPSO)

123 Projekt LH-KONTAKT II MŠMT č. LH12097: INMON – Inovace metod monitoringu zdravotního stavu porostů smrku ztepilého v Krušných horách s použitím hyperspektrálních dat

124 Projekt NASA NAG5-5192CFDA#43.002: Forest recovery in the Czech Republic

125 Entcheva Campbell et al. (2004)



Lhotáková, Z., Brodský, L., Kupková, L., Kopačková, V., Potůčková, M., Mišurec, J., Klement, A., Kovářová, M., Albrechtová, J. (2013): Detection of multiple stresses in Scots pine growing at post-mining sites using visible to near-infrared spectroscopy. Environ. Sci.: Processes Impacts, 15, 2004–2015. DOI: 10.1039/C3EM00388D. WOS (autorský podíl: 15 %)

Jedním z negativních environmentálních dopadů těžby hnědého uhlí je zvýšená acidita půdního a vodního prostředí v důsledku uvolňování těžkých kovů a jejich distribuce v půdním profilu. Degradované půdy v oblastech s ukončenou těžbou nemohou být využity pro zemědělství a jsou většinou zalesňovány. Kontaminace půdy těžkými kovy a její nízké pH jsou stresovými faktory, které vedou ke změnám biochemických/biofyzikálních parametrů listoví. Tyto parametry mohou tedy být využity jako nespécifický indikátor stresu rostlin, detekovatelný i s využitím spektroskopie. Cílem této studie bylo testovat potenciál spektroskopie (viditelné a blízké infračervené oblasti spektra – VNIR) pro detekci stresu v jehlicích porostů borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na čtyřech lokalitách s rozdílným půdním typem a způsobem rekultivace i mírou ovlivnění těžební činností. Konkrétně byla testována senzitivita chlorofylu, karotenoidů, rozpustných fenolických látek, ligninu a relativní obsah vody (RWC – Relative Water Content) na půdní podmínky stanovišť.

Různými statistickými metodami byly analyzovány rozdíly půdních parametrů i biochemických parametrů vegetace (jehlic) jednotlivých stanovišť. Analýza MANOVA (multivariate analysis of variance) prokázala rozdíly mezi látkami v jehlicích – jak pro jednotlivá stanoviště, tak pro půdní typy. Metoda Jeffries–Matusita distances byla využita pro hodnocení separability stanovišť ze série kombinací biochemických parametrů vegetace. Zásadním zjištěním práce je, že pro borovice rostoucí na degradovaných substrátech je k dosažení dobré odlišitelnosti stanovišť z hlediska míry zatížení stresem potřeba kombinovat minimálně tři nespécifické indikátory stresu (tj. biochemické parametry/RWC).

Pro jednotlivé biochemické parametry a RWC byly s využitím metody PLSR (*Partial Least Squares Regression*) dále zkonstruovány a validovány empirické modely s využitím spektroskopie v oblasti VNIR (modelován vztah mezi spektry jehlic a biochemickými parametry). Nejlepší vztahy byly nalezeny pro chlorofyl ($R^2 = 0,97$, RMSE = 0,17 mg/g) a RWC ($R^2 = 0,88$, RMSE = 1,41 mg/g). Reflektanční data dosáhla podobné separability jako laboratorní data biochemická/RWC. Originálním výstupem analýzy jsou trojúhelníkové diagramy, v nichž je pro laboratorní i spektrální data graficky vizualizována separabilita stanovišť (bylo nutno znázornit kombinaci tří faktorů, aby se separabilita projevila). Nejdůležitější roli v odlišení stanovišť hrálo RWC, což ukazuje, že velmi důležitým faktorem pro fyziologický stav borovice je vodní režim. Jako důležité byly dále určeny fotosyntetické pigmenty. Oba tyto parametry jsou tedy vhodnými nespécifickými indikátory stresu borovic rostoucích na kontaminovaných substrátech. Z hlediska separability konkrétních stanovišť se ukázalo, že nejsnadněji odlišitelný je silně znečištěný opuštěný důl (Lítov).

Tato studie je v rámci celé habilitační práce příkladem nejkomplexnějšího hodnocení prostředí a dopadů lidské činnosti na vegetaci. Kromě samotné vegetace je zde hodnoceno i půdní prostředí, a to v regionu, který patří k místům s nejvíce poškozeným životním prostředím

v Česku. Laboratorní spektroskopie se ukázala jako vhodný nástroj pro analýzu míry poškození a navržený postup má potenciál pro využití v širším měřítku rozsáhlých území na základě leteckých nebo satelitních hyperspektrálních dat.

Potůčková, M., Červená, L., Kupková, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2016): Statistical comparison of spectral and biochemical measurements on an example of Norway spruce stands in the Ore Mountains, Czech Republic. *Geoinformatics FCE CTU*, 15, 69–83. Recenzovaný článek (autorský podíl: 10 %)



Předmětem analýzy prezentované v druhém příspěvku třetí části vybraných studií je také hledání vztahu mezi spek-

trálními projevy a biochemickými parametry vegetace, v tomto případě se jedná o jehlice, stromy a porosty smrku ztepilého (*Picea abies* L. Karst.) v Krušných horách. V návaznosti na výše zmíněný výzkum (Entcheva Campbell et al. 2004) provedený v Krušných horách na konci 90. let 20. století jsme v rámci projektu INMON chtěli zjistit, jak se dále vyvíjel stav poškozených porostů v Krušných horách, a zda jsou lesy ve východní části (reprezentované zájmovým územím Kovářská) stále více poškozené ve srovnání s částí západní (území Přebuzi). Do analýzy vstupovaly 3 datasety. Kromě laboratorních biochemických/biofyzikálních dat (chlorofyl a, b; karotenoidy; RWC) a spekter jehlic měřených kontaktní sondou byla v tomto případě využita i spektra obrazová (data senzoru ASAS z roku 2013). V rámci souboru dat byl standardními statistickými metodami testován vliv několika parametrů – věková třída jehlic, pozice v koruně, stanoviště.

Analýza ANOVA (*one-way analysis*), Tukey HSD (*honest significant difference*) test, hot spot analýza a lineární regrese byly aplikovány jednak na originální naměřené hodnoty (obsah biochemických látek v listoví, RWC a reflektanční spektra), jednak na derivované hodnoty (byly vypočítány vybrané spektrální indexy). Výsledky ukázaly obecně nízké hodnoty korelace mezi biochemickými parametry, RWC a spektry. Analýza ANOVA odhalila významné rozdíly mezi zájmovými územími pouze v případě laboratorních biochemických dat. Rozdíly byly prokázány mezi některými stanovišti a také se ukázalo, že vertikální gradient biochemických parametrů/RWC v koruně stromů hraje roli v modelování optických vlastností porostů. Hlavním přínosem práce je zjištění, že rozdíly fyziologického stavu smrkových porostů pozorované mezi východní a západní částí Krušných hor v roce 1998 jsou stále velmi mírně detekovatelné, přičemž celkově se stav porostů zlepšil. Tento závěr lze učinit na základě biochemických dat, ze spektrálních laboratorních ani obrazových dat nebyly signifikantní rozdíly zjištěny. K obdobným závěrům, pokud se týká celkového zlepšení stavu porostů i vyrovnání rozdílů mezi východní a západní částí Krušných hor, dospěli i Mišurec et al. (2016).

Potůčková, M., Červená, L., Kupková, L., Lhotáková, Z., Lukeš, P., Hanuš, J., Novotný, J., Albrechtová, J. (2016): Comparison of Reflectance Measurements Acquired with a Contact Probe and an Integration Sphere: Implications for the Spectral Properties of Vegetation at a Leaf Level. *Sensors*, 16, 1801.

IF = 2,033 (autorský podíl: 15 %)



Pro spektroskopická laboratorní měření se běžně využívají dvě zařízení připojená na spektroradiometr. Prvním z nich, které umožňuje relativně jednoduché operativní měření v laboratoři, ale i v terénu, je kontaktní sonda. Manipulace a měření s druhým zařízením – integrační sférou – je složitější. Na druhou stranu je výhodou, že mj. umožňuje kromě reflektance měřit také transmitanci. Obě tato zařízení využíváme ve svých výzkumech a běžně s nimi pracují i jiné spektroskopické týmy. Nikdo ale před námi nepublikoval informace, do jaké míry jsou tato zařízení zaměnitelná a výstupy z nich srovnatelné a přesné. Abychom toto pro svoji praxi měření i širší odbornou komunitu ověřili, provedli jsme experiment, jehož cílem bylo ve spolupráci s kolegy z Ústavu pro výzkum globální změny (ÚVGZ) AV ČR v Brně porovnat spektra naměřená oběma typy zařízení (kontaktní sondou Analytical Spectral Devices Contact Probe a dvěma integračními sférami – Analytical Spectral Devices RTS-3ZCr2 a Labsphere RTC-060-SF). Měřena byla jednak spektra homogenních stálých materiálů (spektralon, barevné papíry) a také spektra vegetace. Protože měření jehlic je problematictější než měření dorziverzálního typu listů, byly měřeny jednak jehlice smrkové ztepilého (*Picea abies* L. Karst.), s níž běžně pracujeme, a také dorziverzální listy tabáku (*Nicotiana Rustica* L.) vypěstovaného pro tento účel v laboratoři.

K hodnocení rozdílů mezi spektry reflektance jednotlivých vzorků byly využity statistické parametry – průměrný absolutní rozdíl, medián rozdílů, směrodatná odchylka a párový t-test. Hodnoceny byly také korelace (lineární regrese) mezi NDVI derivovaným pro každé zařízení a též všechny kombinace vlnových délek v intervalu 450–1800 nm. Analyzovány byly dále vztahy mezi laboratorně měřenými biochemickými parametry (celkový chlorofyl, karotenoidy), RWC a vybranými, v DPZ často používanými, spektrálními indexy vypočítanými z naměřených spekter. Výsledky srovnání podobnosti spekter měřených oběma typy přístrojů pro jednotlivé materiály byly rozdílné. V případě spektralonu byly rozdíly ve spektrech měřených kontaktní sondou a integračními sférami zanedbatelné a v případě barevných papírů modelovatelné s využitím lineární transformace. Avšak, a to je zásadní sdělení výsledků naší analýzy, pro vegetační vzorky se spektra z obou typů zařízení liší. Spektra naměřená kontaktní sondou a integrační sférou pro smrkové jehlice byla signifikantně odlišná. Pro listnaté druhy s dorziverzálním typem listu (reprezentované tabákem) byla naměřená spektra též odlišná, ale průměrné hodnoty vegetačních indexů z nich odvozených se již pohybovaly v rámci příslušných směrodatných odchylek. Větší rozdíly ve spektrech smrkových jehlic měřených kontaktní sondou a integračními sférami byly nejspíš způsobeny rozdílným způsobem měření. Zatímco kontaktní sondou byly jehlice měřeny na větvičkách, v integrační sféře byly měřeny jednotlivé jehlice.

Náš experiment ukázal, že v případě měření vegetace není možné srovnávat spektra naměřená těmito rozdílnými zařízeními. Z výsledků analýzy vyplývá, že do budoucna by měla být věnována pozornost standardizaci měření laboratorních spekter i proto, aby volně

dostupné spektrální knihovny byly spolehlivě využitelným datovým zdrojem pro modelování optických vlastností v úrovni listu. Výzkum velice podobný našemu realizovali následně Hovi et al. (2017). Dospěli k podobnému závěru, že měření pomocí *leaf clip* není zcela srovnatelné s měřeními integračními sférami a vzhledem k tomu, že i podle jejich zjištění rozdíly závisí na měřeném vzorku a vlnové délce, doporučují obezřetnost při srovnávání spekter.

Shrnutí

V poslední části souboru studií, v níž moje přínosy spočívaly zejména v koncepční a metodické přípravě analýz a postupů, podílu na terénním i laboratorním měření, vyhodnocení a interpretaci výsledků i tvorbě textů, byly geoinformační přístupy rozšířeny o využití dat a metod uplatňovaných v oblasti biologie (fyziologie rostlin) a v jednom případě i pedologie (výstupy půdních analýz). Komplexnost výzkumu, jehož důležitou součástí byla geoinformatika, umožnila získat cenné informace o stavu poškozených ekosystémů a bylo potvrzeno, že použité přístupy jsou účinným nástrojem pro monitoring a ochranu krajiny a životního prostředí. Důležité metodické poznatky byly získány testováním využitelnosti a srovnatelnosti zařízení, která měří vstupní data v laboratorní spektroskopii. Výzkumy v oblasti spektroskopie jsou časově, technicky i materiálně náročné, složené z několika kroků jak v terénu, tak v laboratořích i při analýze dat a spolehlivost dat je základním předpokladem získání kvalitních výsledků v tomto procesu.

Modelované empirické vztahy jsou většinou funkční pro území/ekosystémy, kde byla data sbírána, ale není zaručeno, že tento typ modelů bude fungovat i na jiném místě. Výsledné modely mohou být pro monitoring širšího zájmového území s pomocí DPZ úspěšně využívány bez další terénní a laboratorní práce, pokud jsou vztahy funkční i pro úroveň obrazových hyperspektrálních dat (Laurent et al. 2013; Fatehi et al. 2015; Hank, Berger, Bach et al. 2018). Další využitelnost těchto modelů v homogenních i heterogenních ekosystémech budeme v týmu laboratorní a obrazové spektroskopie společně s kolegy z ÚVGZ AV ČR v Brně¹²⁶ testovat v mezinárodním projektu MŠMT INTER-ACTION¹²⁷, který jsme získali v roce 2018. Naší partnerkou bude opět P. E. Campbell z University of Maryland a novým partnerem bude H. Epstein z University of Virginia. Cílem projektu je mimo jiné modelování biochemických a strukturálních parametrů vegetace – a to aplikace pokročilých modelů přenosu záření (např. DART) a vytvoření empirických statistických modelů založených na analýze vztahu biochemických a strukturálních parametrů z časových řad spektrálních dat (obrazových, terénních a laboratorních) pro hodnocení sezónní dynamiky funkce vegetace ve studovaných ekosystémech na lokální, regionální a popř. i globální úrovni. I v tomto případě (stejně jako ve výzkumu prezentovaném v kapitole 3.2) k prohloubení a rozvoji našeho výzkumu přispěje multitemporální přístup a hyperspektrální obrazová data získaná tentokrát pomocí snímání

126 <http://www.czechglobe.cz/cs/>

127 Projekt LTAUSA18154: Hodnocení funkce ekosystémů na základě sledování kvantitativních parametrů vegetace z dat dálkového průzkumu Země vysokého prostorového, spektrálního a časového rozlišení (hlavní řešitelka J. Albrechtová).

z RPAS. Tyto vstupy a využití modelů přenosu záření (Darvishzadeh et al. 2008; Malenovský et al. 2013) by měly vést k větší univerzálnosti výsledků a přenositelnosti vztahů odvozených pro spektroskopická data na úrovni listu, koruny i porostu.

Projektem INTER-ACTION a výše zmíněnými výzkumnými aktivitami v KRNAP je do budoucna zaručena poměrně široká škála geoinformačních výzkumných témat, která bude náš tým řešit. Na práci týmu a výstupech se podílí kromě výzkumných pracovníků také množství studentů (viz seznam ukončených bakalářských, diplomových, dvou dizertačních¹²⁸ prací na stránkách projektu¹²⁹) a jejich řady budou pro práci na nových tématech rozšířeny. Budeme tak pokračovat v rozvoji školy laboratorní a obrazové spektroskopie na PŘF UK, kterou jsem začala budovat od roku 2012 jako interdisciplinární mezioborové centrum a která vedle přímé výuky v této oblasti¹³⁰ rozšiřuje řady odborníků na tuto problematiku právě zapojením do našich výzkumných aktivit v rámci zpracování kvalifikačních prací.

Stejně jako dvě předchozí části souboru vybraných studií má i tato část praktické implikace. V rámci projektu INMON jsme spolupracovali s celou řadou odborníků z praxe (zejména z lesních správ v Krušných horách), kteří nám poskytovali zpětnou vazbu a měli zájem o výsledky našich výzkumů. Podíleli se také na jednom z důležitých výstupů projektu, kterým byla knižní monografie¹³¹ na téma hodnocení stavu lesních porostů, jejíž jsem byla ko-editorou a spoluautorkou několika kapitol. Kniha byla publikovaná v češtině i proto, aby se s výsledky našeho výzkumu kromě odborné mezinárodní veřejnosti, pro níž byly určeny odborné články v angličtině, mohla seznámit také širší obec zainteresovaných odborníků z praxe i zájemci z řad veřejnosti v Česku.

128 Mišurec (2017); Červená (2018)

129 <https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/veda-a-vyzkum/vyzkumne-tymy/vyzkumny-tym-laboratorni-a-obrazove-spektroskopie>

130 Přednáška Zpracování hyperspektrálních dat, kterou zajišťujeme společně s kolegyní Lucií Červenou jako jediné pracoviště v ČR.

131 Albrechtová, Kupková, Campbell et al., eds. (2017)

Literatura, zdroje

- Abhishek, B. (2012): Seminar on a review of change detection techniques [online]. Indian institute of technology Roorkee. Dostupné z: https://www.slideshare.net/abhishek_bhatt/a-review-of-change-detection-techniques (19. 1. 2018).
- Agarwal, C. et al. (2001): A Review and Assessment of LandUse Change Models. Dynamics of Space, Time, and Human Choice. Indiana University and USDA Forest Service.
- Albrechtová, J., Kupková, L., Campbell, P. K. E., eds. (2017): Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: případová studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v Krušných horách v letech 1998–2013. Geographica. Praha: Česká geografická společnost.
- Albrechtova, J., Rock, B. N., Soukupova, J., Entcheva, P., Šolcova, B., Polak, T. (2001): Biochemical, histochemical, structural and reflectance markers of damage in Norway spruce form the Krušné hory Mts. used for interpretation of remote sensing data. *Journal of Forest Science*, 47, 26–33.
- Ali, M., Darvishzadeh, R., Skidmore, A. K., Duren, I. V. (2017): Specificleaf area estimation from leaf and canopy reflectance through optimization and validation of vegetation indices. *Agriculture Forest Meteorol.*, 236, 162–174.
- Anderson, K., Gaston, K. J. (2013): Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*. [Online] 11 (3), 138–146.
- Aneece, I. P., Epstein, H., Lerdau, M. (2017): Correlating species and spectral diversities using hyperspectral remote sensing in early-successional fields. *Ecology and Evolution* 7, 3475–3488.
- Ankersen, J., Grogan, K., Mertz, O., Fensholt, R., Castella, J.-C., Lestrelin, G., Nguyen, T. D., Danielsen, F., Brofeldt, S., Rasmussen, K. (2015): Vietnam's Forest Transition in Retrospect: Demonstrating Weaknesses in Business-as-Usual Scenarios for REDD+. *Environmental Management*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-015-0443-y>.
- Antrop, M. (2005): Why landscapes of the past are important for the future. *Landscape and Urban Planning* 70, 21–34.
- Ardö, J. (1998): Remote sensing of forest decline in the Czech Republic. Department of Physical Geography, Lund University, Sweden, 47.
- Ardö, J., Lambert, N., Henzlik, V., Rock, B. (1997): Satellite Based Estimations of Coniferous Forest Cover Changes: Krušné Hory, Czech Republic. *Ambio*, 26, 3, 158–66.
- Asner, P., Martin, R. E. (2008): Spectral and chemical analysis of tropical forests: Scaling from leaf to canopy levels. *Remote Sens. Environ.*, 112, 3958–3970.
- Aspinall, R. J. (2007): Basic and Applied Land Use Science. In: Aspinall, R. J., Hill, M. J., eds.: *Land Use Change: Science, Policy and Management*. CRC Press, Boca Raton. 3–15.
- Aspinall, R. J., Hill, M. J., eds. (2007): *Land Use Change: Science, Policy and Management*. CRC Press, Boca Raton.
- Aspinall, R., Staiano, M. (2017): A Conceptual model for land system dynamics as a coupled human–environment system. *Land* 6, 81.
- Bachmann, M., Makarau, A., Segl, K., Richter, R. (2015): Estimating the Influence of Spectral and Radiometric Calibration Uncertainties on EnMAP Data Products – Examples for Ground Reflectance Retrieval and Vegetation Indices. *Remote Sensing*, 7(8), 10689–10714. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). DOI: 10.3390/rs70810689.
- Balej, M. (2011): Landscape metrics as indicators of the structural landscape changes – two case studies from the Czech Republic after 1948. *Journal of Land Use Science (Taylor and Francis)*, DOI: 10.1080/1747423X.2011.597443.

- Balej, M., Anděl, J. (2011): Typology of the districts in Czechia based on land cover structure. *Geografie*, 116, 2, 172–190.
- Balej, M., Anděl, J., Raška, P., Oršulák, T. (2012): Land Use Changes in Northwestern Part of Czechia: the Effects of Displacement of German Inhabitants. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Štych, P., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World*. Hokkaido, Japan, VII, 49–57.
- Balej, M., Raška, P., Anděl, J., Chvátalová, A. (2010): Memory of a landscape – a formative component of regional identity? In: *Landscape Modelling: Geographical Space, Transformation and Future Scenarios*. Amsterdam: Springer Netherlands, 2010, 107–121.
- Ban, Y., ed. (2016): *Multitemporal Remote Sensing: Current Status, Trends and Challenges*. Methods and Applications. Springer.
- Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M., Wulder, M. A., Froese, R., White, J. C. (2014): Forest monitoring using Landsat time-series data – A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40, 362–84.
- Barka, I., Lukeš, P., Bucha, T., Hlásny, T., Strejček, R., Mlčoušek, M., Krístek, Š. (2018): Remote sensingbased forest health monitoring systems – case studies from Czechia and Slovakia. *Central European Forestry Journal*, 64, 259–275. DOI: <https://doi.org/10.1515/forj-2017-0051>.
- Barr, C. M., Sayer, J. A. (2012): The political economy of reforestation and forest restoration in Asia-Pacific: Critical issues for REDD+. *Biological Conservation*, 154, 9–19. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.03.020.
- Barrett, E. C., Curtis, L. F. (1982): *Introduction to Environmental Remote Sensing*, 3rd edition. Chapman and Hall, London.
- Batty, M. (2009): Urban Modeling. *International Encyclopedia of Human Geography*. Oxford, Elsevier. 51–58.
- Baylor, M. (2018): Planet Labs targets a search engine of the world. Dostupné z: <https://www.nasaspacesflight.com/2018/01/planet-labs-targets-search-engine-world/> (19. 1. 2019).
- Bell, D. (1999): *Kulturní rozpory kapitalismu*. Sociologické nakladatelství, Praha.
- Benediktsson, J. A., Swain, P. H., Ersoy, O. K. (1990): Neural Network Approaches Versus Statistical Methods in Classification of Multisource Remote Sensing Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28(4), 540–552. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.1990.572944>.
- Bertalanffy, L. von (1969): *General Systems Theory*. Braziller, New York.
- Bezák, P., Halada, L. (2010): Sustainable management recommendations to reduce the loss of agricultural biodiversity in the mountain regions of NE Slovakia. In: *Mountain Research and Development*, 30, 3, 192–204.
- Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Kupková, L., eds. (2015): *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume XI*. Issued by International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change. Faculty of Science, Charles University, Prague. Hokkaido University of Education, Asahikawa.
- Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Štych, P., eds. (2012): *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume VII*. Issued by International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change. Faculty of Science, Charles University, Prague. Hokkaido University of Education, Asahikawa.
- Bičík, I., Jančák, V. (2005): Transformační procesy v českém zemědělství po roce 1990. *Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje PřF UK, Praha*.
- Bičík, I., Jeleček, L. (1995): Metodika hodnocení změn půdního fondu České republiky v posledních 150 letech. In: *Půda v ekonomických souvislostech*. Sborník ze semináře VÚZE 2.–6. 10. 1995, VÚZE, Praha, 106–109.
- Bičík, I., Jeleček, L., Kabrda, J., Kupková, L., Lipský, Z., Mareš, P., Šefrna, L., Štych, P., Winklerová, J. (2010): Změny využití ploch v Česku. *Edice Geographica, ČGS, Praha*.
- Bičík, I., Jeleček, L., Štěpánek, V. (2001): Land-Use Changes and their Social Driving Forces in Czechia in the 19th and 20th Centuries. *Land Use Policy*, 18, 1, 65–73.
- Bičík, I., Kabrda, J. (2007): Land use changes in Czech border regions (1845–2000). *AUC Geographica* 42, 12, 23–52.
- Bičík, I., Kupková, L. (2002): Long term and transformational land use changes in Czechia. In: Himiyama, Y. et al., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume II*. International

- Geographical Union Commission on Land Use and Land Cover Change. Hokkaido University of Education, Asahikawa. 13–25.
- Bičík, I., Kupková, L. (2007): Land use development in the Czech Republic and possibilities of generalization and modeling. In: Dostál, P., Langhammer, J., eds.: *Modeling natural environment and society*. P3K, Prague, 179–204.
- Bičík, I., Kupková, L., Jeleček, L., Štych, P., Winklerová, J., Janoušek, Z. (2015): Land use changes in the Czech Republic 1845–2010: Socio-economic driving forces. Springer International Publishing AG, Switzerland.
- Bičík, I., Kupková, L., Kabrda, J. (2015): Changes of agricultural land use in Czechia 1990–2010. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Kupková, L., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume XI*. International Geographical Union Commission on Land Use and Land Cover Change. Faculty of Science, Charles University, Prague. Hokkaido University of Education, Asahikawa.
- Boltižiar, M., Olah, B. (2013): Land Use Changes of UNESCO Biosphere Reserves in the Slovak Carpathians Since the Late Eighteenth Century. In: Kozak, J., eds.: *The Carpathians: Integrating Nature and Society Towards Sustainability*. Environmental Science and Engineering. Springer Verlag.
- Bontemps, S., Arino, O., Bicheron, P., Brockman, C. C., Leroy, M., Vancutsem, C., Defourny, P. (2016): Operational service demonstration for global land cover mapping: the GlobCover and GlobCorine experiences from 2005 and 2009. In: Giri, C. P., ed.: *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. CRC Press. 243–264.
- Brázdil, R., Trnka, M. et al. (2015): Sucho v českých zemích. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i.
- Brovkina, O., Cienciala, E., Surový, P., Janata, P. (2018): Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Assessment of Qualitative Classification of Norway Spruce in Temperate Forest Stands. *Geo-Spat. Inf. Sci.* 21, 12–20.
- Brovkina, O., Novotny, J., Cienciala, E., Zemek, F., Russ, R. (2017): Mapping forest aboveground biomass using airborne hyperspectral and LiDAR data in the mountainous conditions of Central Europe. *Ecol. Eng.* 100, 219–230.
- Brown, D. et al. (2004): Modeling land use and land-cover change. [online]. Dostupné z: http://www-personal.umich.edu/~danbrown/papers/lcluc_book.pdf/ (15. 7. 2012).
- Brůžek, J. (2018): Porovnání vývoje krajinného pokryvu a struktury krajiny v českém a rakouském pohraničí v období 1991–2016 s využitím dálkového průzkumu Země. Bakalářská práce. PřF UK Praha.
- Bryan, M. L. (1983): Urban land use classification using synthetic aperture radar. *International Journal of Remote Sensing*, 4, 215–233.
- Bucała-Hrabia, A. (2017): Long-term impact of socio-economic changes on agricultural land use in the Polish Carpathians 2017. *Land Use Policy*, 64, 391–404.
- Bürgi, M., Bieling, C., von Hackwitz, K., Kizos, T., Lieskovský, J., García Martín, M., Printsman, A. (2017): Processes and driving forces in changing cultural landscapes across Europe. *Landscape Ecology*, 32, 2097–2112.
- Bürgi, M., Hersperger, A. M., Schneeberger, N. (2004): Driving forces of landscape change – current and new directions. *Landscape Ecol.* 19, 857–868.
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A. (1998): *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.
- Butsic, V., Munteanu, C., Griffiths, P., Knorn, J., Radeloff, V. C., Lieskovský, J., Mueller, D., Kuemmerle, T. (2017): The effect of protected areas on forest disturbance in the Carpathian Mountains from 1985 to 2010. *Conservation Biology*, 31, 570–580.
- Baylor, M. (2018): Planet Labs targets a search engine of the world. Dostupné z: <https://www.nasaspaceflight.com/2018/01/planet-labs-targets-search-engine-world/> (10. 1. 2019).
- Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011): *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- Campbell, P. K. E., Rock, B. N., Martin, M. E., Neefus, C. D., Irons, J. R., Middleton, E. M., Albrechtova, J. (2004): Detection of initial damage in Norway spruce canopies using hyperspectral airborne data. *Remote Sensing of Environments*, 20, 5557–5583.

- Campbell, P. K., E. M. Middleton, K. J. Thome et al. (2013): EO-1 Hyperion Reflectance Time Series at Calibration and Validation Sites: Stability and Sensitivity to Seasonal Dynamics. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observations Remote Sensing*, 6(2), 276–290.
- Cegielska, K., Noszczyk, T., Kukulska, A., Szylar, M., Hernik, J., Dixon-Gough, R., Jombach, S., Valánszki, I., Filepné Kovács, K. (2018): Land use and land cover changes in post-socialist countries: Some observations from Hungary and Poland. *Land Use Policy*, 78, 1–18.
- CENIA (2017): Vývoj krajinného pokryvu dle CORINE Land Cover na území ČR v letech 1990–2017. GENIA, česká informační agentura životního prostředí. Dostupné z: http://invenio.nusl.cz/record/361852/files/nusl-361852_1.pdf (18. 1. 2019).
- Cernusca, A., Tappeiner, U., Bahn, M., Bayfield, N., Chemini, C., Fillat, F., Graber, W., Rosset, M., Siegwolf, R., Tenhunen J. (1996): ECOMONT – Ecological effects of land-use changes on European terrestrial ecosystems. *Pirineos* 147–148, 145–172.
- Clark, R. N., King, T. V., Klewja, M., Swayze, G. A. (1990): High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. *J. Geophys. Res.*, 95, 12653–12680.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., Gaydos, L. (1997): A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, 247–261.
- Claverie, M., Ju, J., Masek, J. G., Dungan, J. L., Vermote, E. F., Roger, J.-C., Skakun, S. V., Justice, C. (2018): The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, 219, 145–161.
- Clevers, G. P. W., Kooistra, L. (2012): Using hyperspectral remote sensing data for retrieving canopy chlorophyll and nitrogen content. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, 5, 2, 574–583.
- Comber, A., Fischer, P., Wadsworth, R. (2005): Comparing the consistency of expert land cover knowledge. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7, 189–201.
- Congedo, L., Sallustio, L., Munafò, M., Ottaviano, M., Tonti, D., Marchetti, M. (2016): Copernicus high-resolution layers for land cover classification in Italy. *J. Maps*, 12, 1–11.
- Curran, P. J. (1980): Multispectral Remote Sensing of Vegetation Amount. *Progress in Physical Geography*, 4, 315–341.
- Červená, L. (2018): Laboratory/Field Spectroscopy and Remote Sensing Image Data for Vegetation Studies. Dizertační práce. PřF UK Praha.
- Červená, L., Mišurec, J., Kupková, L., Potůčková, M. (2017a): Modely přenosu záření. In: Albrechtová, J., Kupková, L., Campbell, P. K. E., eds.: *Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: případová studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v Krušných horách v letech 1998–2013*. Geographica. Praha: Česká geografická společnost, 222–229.
- Červená, L., Potůčková, M., Kupková, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2017b): Statistické metody pro vyhodnocení spektrálních dat a jejich vztahu ke stavovým parametrům vegetace. In: Albrechtová, J., Kupková, L., Campbell, P. K. E., eds.: *Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: případová studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v Krušných horách v letech 1998–2013*. Geographica. Praha: Česká geografická společnost, 213–221.
- Darvishzadeh, R., Atzberger, C., Skidmore, A., Schlerf, M. (2011): Mapping grassland leaf area index with airborne hyperspectral imagery: A comparison study of statistical approaches and inversion of radiative transfer models. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 66, 894–906.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C. (2008): Inversion of a Radiative Transfer Model for Estimating Vegetation LAI and Chlorophyll in a Heterogeneous Grassland. *Remote Sensing of Environment*, 112 (5), 2592–2604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.12.003>.
- Databáze LUCC Czechia (2019). Dostupné z: <http://web.natur.cuni.cz/ksgrsrsek/lucc/index.php/data/> (19. 1. 2019).
- Davidson, S., Santos, M., Sloan, V., Watts, J., Phoenix, G., Oechel, W., Zona, D. (2016): Mapping Arctic Tundra Vegetation Communities Using Field Spectroscopy and Multispectral Satellite Data in North Alaska, USA. *Remote Sensing*, 8, 12, 978. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8120978>.

- Dawson, T. P., Curran, P. J., Plummer, S. E. (1998): LIBERTY. Modeling the effects of leaf bio-chemical concentration on reflectance spectra. *Remote Sensing of Environment*, 65, 1, 50–60.
- Defourny, P., Mayaux, P., Herold, M., Bontemps, S. (2012): Global land-cover map validation experiences: Toward the characterization of uncertainty. In: Giri, C., ed.: *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. Taylor & Francis Inc, Indiana, 207–224.
- DeFries, R. S., Rudel, T. K., Uriarte, M., Hansen, M. (2010): Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nat Geosci*, 3, 178–181.
- Demek, J. (1974): *Systémová teorie a studium krajiny*. Brno, GGÚ ČSAV, *Studia geographica*, 40.
- Demek, J., Havlíček, M., Chrudina, Z., Mackovčín, P. (2008): Changes in land-use and the river network of the Graben Dyjsko-svratecký úval (Czech Republic) in the last 242 years. *Journal of Landscape Ecology*, 1, 22–51.
- Demek, J., Mackovčín, P., Slavík, P. (2012): Spatial and temporal trends in land-use changes of Central European Landscape in the last 170 years: a case study from the south-eastern part of the Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*, 20, 3, 2–21.
- Dobrovolný, P. (1998): *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. PŘF MU, katedra geografie, Brno.
- Donald, P. F., Sanderson, F. J., Burfield, I. J., Bommel, F. P. J. van (2006): Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116, 189–196.
- Eichhorn, J., Roskams, P., Ferretti, M., Mues, V., Szepesi, A., Durrant, D., eds. (2010): *Manual Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents*. In: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Inst. for World Forestry, Hamburg, 49.
- Entcheva Campbell, P. K. E., Rock, B. N., Martin, M. E., Neefus, C. D., Irons, J. R., Middleton, E. M., Albrechtova, J. (2004): Detection of initial damage in Norway spruce canopies using hyperspectral airborne data. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 24, 5557–5583.
- Epstein, H. E., Reynolds, M. K., Walker, D. A., Bhatt, U. S., Tucker, C. J., Pinzon, J. E. (2012): Dynamics of aboveground phytomass of the circumpolar Arctic tundra during the past three decades. *Environmental Research Letters*, 7, 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/015506>.
- Erb, K. H., Haberl, H., Jepsen, M. R., Kuemmerle, T., Lindner, M., Muller, D., Reenberg, A. (2013): A conceptual framework for analysing and measuring land-use intensity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 464–470.
- ESA (2016): Copernicus Overview. European Space Agency. Dostupné z: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3 (26. 4. 2016).
- ESA (2019): Sentinel Online. European Space Agency. Dostupné z: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions> (18. 1. 2019).
- Eurostat (2019): Land use statistics. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Land_use_statistics (18. 1. 2019).
- FAO (1993): *Guidelines for land-use planning*. FAO Development Series No. 1, Rome, Italy.
- FAO (1994): *Integrated Approach to the Planning and Management of land Resources*. Draft report of the UN Secretary-General on the Implementation of Chapter 10 of Agenda 21 (UNCED) to the Commission on Sustainable Development. Third Draft of Task Manager's Report. FAO/AGL, Rome.
- FAO (2002): *Land Cover Classification System*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Dostupné z: http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e01e.htm#p230_19485 (18. 1. 2019).
- FAO (2011): *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
- Fatehi, P., Damm, A., Schaepman, M., Kneubühler, M. (2015): Estimation of Alpine Forest Structural Variables from Imaging Spectrometer Data. *Remote Sensing* 7, 15830.
- Feranec, J., Hazeu, G., Christensen, S., Jaffrain, G. (2007): Corine land-cover change detection in Europe (case studies of the Netherlands and Slovakia). *Land Use Policy*, 24, 234–247.

- Feranec, J., Jaffrain, G., Soukup, T., Hazeu, G. (2010): Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data. *Appl. Geogr.*, 30, 19–35.
- Feranec, J., Solin, L., Kopecká, M., Ořahel, J., Kupková, L., Štych, P., Bičík, I., Kolář, J., Čerba, O., Soukup, S., Brodský, L. (2014): Analysis and expert assessment of the semantic similarity between land cover classes. *Progress in Physical Geography*, 38, 3, 301–327.
- Feranec, J., Soukup, T., Taff, G. N., Štych, P., Bičík, I. (2017): Overview of changes in land use and land cover in Eastern Europe. In: Gutman, G., Radeloff, V.C., eds.: *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Springer International Publishing, 13–33.
- Feranec, J., Šúri, M., Cebecauer, T., Ořahel, J. (2002): Methodological Aspects of Landscape Changes Detection and Analysis in Slovakia applying the Corine Land Cover Databases. *Geografický časopis* 54, 3, 271–288.
- Feranec, J., Šúri, M., Ořahel, J., Cebecauer, T., Kolář, J., Soukup, T., Zdeňková, D., Waszsmuth, J., Vajdea, V., Vijdea, A., Nitica, C. (2001): Landscape change detection, analysis and assessment in the Phare Countries – the Czech Republic, Hungary, Romania and Slovak Republic. In: Himiyama, Y., Mather, A., Bičík, I., Milanova, E. V., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume I*. IGU-LUCC Research Reports IL-2001-01, Japan. 53–60.
- Feřtřová, M., Špačková, P., Ouředníček, M. (2013): Analýza aktérů a problémových aspektů rozhodování při nakládání s územím v suburbánních obcích. In: Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J., eds.: *Sub Urbs: krajina, sídla a lidé*. Academia, Praha. 234–255.
- Fialová, D., Vágner, J. (2014): The Owners of Second Homes as Users of Rural Space in Czechia. *AUC Geographica*. Univerzita Karlova, 49, 2, 21–38.
- Foody, G. M. (2002): Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.*, 80, 185–201.
- Foody, G. M. (2009): Sample size determination for image classification accuracy assessment and comparison. *Int. J. Remote Sens.* 30, 5273–5291.
- Foody, G. M., Mathur A. (2006): The use of small training sets containing mixed pixels for accurate hard image classification: Training on mixed spectral responses for classification by a SVM, *Remote Sensing Environment*, 103/2, 179–189.
- Foody, G. M., Mathur, A. (2004): Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification, *Remote sensing of environment*, 93, 107–117.
- Forejt, M., Dolejš, M., Raška, P. (2018): How reliable is my historical land-use reconstruction? Assessing uncertainties in old cadastral maps. *Ecol. Indic.*, 94, 237–245.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.053>.
- Forman, R. T. T., Gordon, M. (1993): *Krajinná ekologie*. Academia, Praha.
- Foster, Z. C. (1932): The Use of Aerial Photographs in the Michigan Land Economic Survey. *Bulletin of the American Soil Survey Association*, 13, 86–88.
- Fu, P., Sun, J. (2010): *Web GIS: Principles and Applications*. ESRI Press. Redlands, CA.
- Fuchs, R., Herold, M., Verburg, P. H., Clevers, J. G. P. W., Eberle, J. (2015a): Gross changes in reconstructions of historic land cover/use for Europe between 1900 and 2010. *Glob. Change Biol.*, 21, 299–313.
- Fuchs, R., Verburg, P. H., Clevers, J. G. P. W., Herold, M. (2015b): The potential of old maps and encyclopaedias for reconstructing historic European land cover/use change. *Applied Geography*, 59, 43–55.
- Gabrovec, M., Kladnik, D. (1997): Some new aspects of Land Use in Slovenia. *Geografski sbornik – Acta Geographica*, 37, 7–64.
- Gabrovec, M., Petek, F., Kladnik, D. (2001): Land Use Changes in the 20th Century in Slovenia. In: Himiyama, Y., Mather, A., Bičík, I., Milanova, E. V., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume I*. IGU-LUCC Research Reports IL-2001-01, Japan. 41–52.
- Gari, S. R., Newton, A., Icely, J. D. (2015): A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean & Coastal Management* [online]. 2015, 103, 63–77. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013).

- Geist, H. J., ed. (2006): *Our Earth's changing land: An encyclopedia of Land-use and Land-cover change*. Greenwood Press, Westport, Connecticut.
- Geist, H. J., Lambin, E. F. (2002): Proximate causes and underlying forces of tropical deforestation. *BioScience* 52, 143–150.
- Gellrich, M., Baur, P., Koch, B., Zimmermann, N. E. (2007): Agricultural land abandonment and natural forest re-growth in the Swiss mountains: A spatially explicit economic analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 118, 93–108.
- Gerard, F., Petit, S., Smith, G., Thomson, A., Brown, N., Manchester, S., Wadsworth, R., Bugár, G., Halada, L., Bezak, P., Boltižiar, M., De Badts, E., Halabuk, A., Mojses, M., Petrovič, F., Gregor, M., Hazeu, G., Mucher, C. A., Wachowicz, M., Huitu, H., Tuominen, S., Köhler, R., Olschofsky, K., Ziese, H., Kolar, J., Sustera, J., Luque, S., Pino, J., Pons, X., Roda, F., Roscher, M., Feranec, J. (2010): Land cover change in Europe between 1950 and 2000 determined employing aerial photography. *Progress in Physical Geography*, 34, 183–205.
- Gerard, F., Thomson, A., Wadsworth, R., Gregor, M., Luque, S., Sandra, L., Huitu, H., Köhler, R., Olschofsky, K., Hazeu, G., Mucher, S., Halada, L., Bugár, G., Pino, J. (2006): Land cover change in Europe from the 1950ies to 2000. Aerial photo interpretation and derived statistics from 59 samples distributed across Europe. Institute for World Forestry, University of Hamburg, Hamburg.
- Gholizadeh, A., Borůvka, L., Vašát, R., Saberioon, M., Klement, A., Kratina, J., Tejnecký, V., Drábek, O. (2015): Estimation of Potentially Toxic Elements Contamination in Anthropogenic Soils on a Brown Coal Mining Dumpsite by Reflectance Spectroscopy: A Case Study. *PLoS One*, 2015, 10, 2, 1–14.
- Gingrich, S., Erb, K. H., Krausmann, F., Gaube, V., Haberl, H. (2007): Longterm dynamics of terrestrial carbon stocks in Austria: a comprehensive assessment of the time period from 1830 to 2000. *Reg. Environ. Change*, 7, 37–47.
- Giri, C., ed. (2012): *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. Taylor & Francis Inc, Indiana.
- Gisat (2019a): Dálkový průzkum Země – historie. GISAT s. r. o. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/historie> (18. 1. 2019).
- Gisat (2019b): Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu> (18. 1. 2019)
- Gizachew, B., Duguma, L. A. (2016): Forest Carbon Monitoring and Reporting for REDD+: What Future for Africa? *Environ. Manag.* 58, 922–930.
- Gómez, C., White, C., Wulder, M. (2016): Optical remotely sensed time series data for land cover classification: A review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 116, 55–72. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>.
- Goodchild, M. F. (2012): GIS cience in the 21st century. In: Shi, W., Goodchild, M. F., Lees, B., Leung, Y., eds.: *Advances in Geo-Spatial Information Science*, CRC Press, Leiden, 3–10.
- Grešlová, P., Gingrich, S., Krausmann, F., Chromý, P., Jančák, V. (2015): Social metabolism of Czech agriculture in the period 1830–2010. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 50, 23–35.
- Griffiths, P., Hostert, P. (2015): *Forest Cover Dynamics During Massive Ownership Changes – Annual Disturbance Mapping Using Annual Landsat Time-Series*, Springer International Publishing, Remote Sensing Time Series, 307–322.
- Griffiths, P., Jakimow, B., Hostert, P. (2018): Reconstructing long term annual deforestation dynamics in Pará and Mato Grosso using the Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 216, 497–513. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.010>.
- Griffiths, P., Kuemmerle, T., Baumann, M., Radeloff, V. C., Abrudan, I. V., Lieskovsky, J., Munteanu, C., Ostapowicz, K., Hostert, P. (2014): Forest disturbances, forest recovery, and changes in forest types across the Carpathian ecoregion from 1985 to 2010 based on Landsat image composites, *Remote Sensing of Environment*, 151, 72–88.
- Griffiths, P., Müller, D., Kuemmerle, T., Hostert, P. (2013): Agricultural land change in the Carpathian ecoregion after the breakdown of socialism and expansion of the European Union. *Environmental Research Letters*, 8, 045024.

- Grogan, K., Pflugmacher, D., Hostert, P., Mertz, O., Fensholt, R. (2018): Unravelling the link between global rubber price and tropical deforestation in Cambodia. *Nature Plants*. DOI: 10.1038/s41477-018-0325-4, <https://rdcu.be/be1F1>.
- Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S., Headley R. (2008): Towards monitoring land-cover and land-use changes at a global scale: The Global Land Survey 2005. *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, 74, 6–10.
- Gutman, G., Radeloff, V. C., eds. (2017): *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Springer International Publishing.
- Gutman, G., Reissell A., eds. (2011): *Eurasian Arctic land cover and land use in a changing climate*, Springer Verlag: New York.
- Haimes, Y. Y. (2012): Systems-based guiding principles for risk modelling, planning, assessment, management, and communication. *Risk Analysis*, 32, 1451–1467.
- Hais, M., Jonášová, M., Kučera, T., Langhammer, J. (2009): Comparison of two types of forest disturbance using multitemporal Landsat TM/ETM+ imagery and field vegetation data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 4, 835–845.
- Hais, M., Langhammer, J., Jirsová, P., Dvořák, L. (2008): Dynamics of forest disturbance in central part of the Šumava mountains between 1985 and 2007 based on Landsat TM/ETM+ satellite data. *AUC Geographica*, 1–2, 53–62.
- Hais, M., Wild, J., Berec, L., Brůna, J., Kennedy, R., Braaten, J., Brož, Z. (2016): Landsat Imagery Spectral Trajectories—Important Variables for Spatially Predicting the Risks of Bark Beetle Disturbance. *Remote Sensing*, 8, 8, 687.
- Hájek, F. (2008): Process-based approach to automated classification of forest structures using medium format digital aerial photos and ancillary GIS information. *European Journal of Forest Research*, 127, 2, 115–124.
- Halabuk, A., Bača, A., David, S., Gerhátová, K., Halada, L., Kohút, F., Mojses, M., Ponecová, Z. (2016): Monitoring of Effects of Experimental Warming and Increased Nitrogen Deposition on Alpine Meadows – Research Plot Kráľova hoľa (Low Tatra Mts.). *Životné prostredie*, 50, 1, 44–50.
- Halabuk, A., Gerhátová, K., Kohút, F., Ponecová, Z., Mojses, M. (2013): Identification of Season-Dependent Relationships between Spectral Vegetation Indices and Aboveground Phytomass in Alpine Grassland by Using Field Spectroscopy. *Ekológia (Bratislava)*, 32, 2, 186–196.
- Halada, L., David, S., Hreško, J., Klimantová, A., Bača, A., Rusňák, T., Buraľ, M., Vadel, L. (2017): Changes in grassland management and plant diversity in a marginal region of the Carpathian Mts. in 1999–2015. *Science of the Total Environment*, 609, 896–905. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.066.
- Halada, L., Ružičková, H., David, S., Halabuk, A. (2008): Semi-natural grasslands under impact of changing land use during last 30 years: Trollio-Cirsietum community in the Liptov region (N Slovakia). *Community Ecology*, 9, 115–123.
- Hamlyn, G. J., Vaughan, R. A. (2010): *Remote Sensing of Vegetation: Principles, Techniques, and Applications*. Oxford University Press.
- Hampl, M. (1998): *Realita, spoločnosť a geografická organizácia: hľadanie integrálneho rádu*. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Praha.
- Hampl, M. (2000): Pohraniční regiony České republiky: současné tendence rozvojové diferenciace. *Geografie-Sborník ČGS*, 105, 3, 241–254.
- Hampl, M. (2001): Regionální vývoj: specifika české transformace, evropská integrace a obecná teorie. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha.
- Hampl, M. (2005): *Geografická organizace společnosti v České republice: transformační procesy a jejich obecný kontext*. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Praha.
- Hampl, M., Dostál, P., Drbohlav, D. (2007): *Social and Cultural Geography in the Czech Republic: Under Pressures of Globalization and Post-Totalitarian Transformation*. Country Report. *Social and Cultural Geography*, 2007, 8, 3, 475–493.

- Hampl, M., Gardavský, V., Kühnl, K. (1987): Regionální struktura a vývoj systému osídlení ČSR. Univerzita Karlova, Praha.
- Hank, T. B., Berger, K., Bach, H. et al. (2018): Spaceborne Imaging Spectroscopy for Sustainable Agriculture: Contributions and Challenges. *Surveys in Geophysics*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-018-9492-0>.
- Hansen, M. C., Loveland, T. R. (2012): A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66–74.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R. et al. (2013): High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342, 6160, 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.
- Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V. (2010): Quantification of global gross forest cover loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 8650–8655.
- Harčarik, J. (2007): Management výsadeb kleče na přírodovědně hodnotných lokalitách v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 36, 363–369.
- Hardelin, J., Lankoski, J. (2018): Land use and ecosystem services. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, 114, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/c7ec938e-en>.
- He, J., Long, R., Xu, J. (2014): Local Dynamics Driving Forest Transition insights from upland villages in Southwest China. *Forests*, 5, 2, 214–233. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/f5020214>.
- Healey, S. P., Cohen, W. B., Zhiqiang, Y., Krankina, O. N. (2005): Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment*, 97, 301–310.
- Hejcman, M., Češková, M., Pavl, V. (2010): Control of *Molinia caerulea* by cutting management on sub-alpine grassland. *Flora*, 205, 577–582.
- Hejcman, M., Klaudivová, M., Hejcmanová, P., Pavlů, V., Jones, M. (2009): Expansion of *Calamagrostis villosa* in sub-alpine *Nardus stricta* grassland: Cessation of cutting management or high nitrogen deposition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 91–96.
- Hernández-Clemente, R., Navarro-Gerrillo, R. M., Zarco-Tejada, P. J. (2012): Carotenoid Content Estimation in a Heterogeneous Conifer Forest Using Narrow-Band Indices and PROSPECT+DART Simulations. *Remote Sensing of Environment*, 127, 298–315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.014>.
- Herold, M., Di Gregorio, A. (2012): Evaluating land–cover legends using the UN Land-Cover Classification System. In: *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*. Taylor & Francis Inc., Indiana, 65–90.
- Herold, M., See, L., Tsensbazar, N., Fritz, S. (2016): Towards an Integrated Global Land Cover Monitoring and Mapping System. *Remote Sensing*, 8, 12, 11.
- Hesperger, A. M., Gennaio, M. P., Verburg, P. H., Bürgi, M. (2010): Linking land change with driving forces and actors: four conceptual models. *Ecology and Society*, 15, 4, 1 [online] Dostupné z: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art1/> (3. 9. 2018).
- Höchtl, F., Plieninger, T., Spek, M. (2006): Traditional land-use and nature conservation in European rural landscapes. *Environmental Science & Policy*, 9, 4, 1–17.
- Holmgren, P., Thuresson, T. (1998): Satellite remote sensing for forestry planning – a review. *Scan. J. For. Res.*, 13, 90–110.
- Holzwarth, S., Pinnel, N., Bachmann, M., Schneider, M., Köhler, C. H., Baumgartner, A., Schläpfer, D. (2018): Optimized Processing of Airborne Hyperspectral Data for Forest Studies. Conference Paper. WHISPERS 2018, 9th Workshop on Hyperspectral and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing, Amsterdam, the Netherlands.
- Homolová, L., Lukeš, P., Malenovský, Z., Lhotáková, Z., Kaplan, V., Hanuš, J. (2013): Measurement methods and variability assessment of the Norway spruce total leaf area: Implications for remote sensing. *Trees*, 27, 111–121.
- Hooper, D., Adair, C., Cardinale, B. et al. (2012): A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of environmental change. *Nature*, 486, 105–109. DOI: 10.1038/nature11118.
- Hovi, A., Forsström, P., Möttus, M., Rautiainen, M. (2017): Evaluation of Accuracy and Practical Applicability of Methods for Measuring Leaf Reflectance and Transmittance Spectra. *Remote Sensing*, 10, 25.

- Hrnčiarová, T., Mackovčin, P., Zvara, I. et al. (2009): Atlas krajiny České republiky / Landscape Atlas of the Czech Republic. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.
- Hromádková, L. (2016): Classification of meadow vegetation in the Krkonoše Mts. using aerial hyperspectral data and support vector machines classifier. Diplomová práce. PŘF UK Praha.
- Huang, C., Davis, L. S., Townshend, J. R. G. (2002): An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23/4, 725–749.
- Huang, C., Goward, S. N., Masek, J. G., Thomas, N., Zhu, Z., Vogelmann, J. E. (2010): An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 114, 183–198.
- Hurbánek, P. (2005): Vývoj a nové přístupy v interpretáciích vidieka: priestorový aspekt, periférnosť a koncentrovanosť systému osídlenia. In: Spišiak, P., ed.: *Agrorurálne štruktúry Slovenska po roku 1989*. Geo-grafika, Bratislava, 95–114.
- Hurbánek, P., Spišiak, P. (2005): Typy priestorových štruktúr poľnohospodárskeho využitia zeme na Slovensku. In: *Teória a prax krajinnno-ekologického plánovania – zborník príspevkov z vedeckého seminára*. Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra, 62–69.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D. (2013): Change detection from remotely sensed images: from pixel-based to object-based approaches. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 80, 91–106. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006>.
- Chang, C. (2013): *Hyperspectral Data Processing: Algorithm Design and Analysis*. John Wiley & Son, Inc., Hoboken, NJ.
- Chen, J., Chen, J., Liao, A., Cao, X., Chen, L., Chen, X., He, C., Han, G., Peng, S., Lu, M. et al. (2015): Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 103, 7–27.
- Christiansen, T. (1998): *Geographical Information Systems for Regional Rural Development Projects in Developing Countries*. Giessener Geographische Schriften, Giessen.
- Chromý, P. (2003): Vývoj krajiny a formování identity území: příspěvek k environmentálním dějinám na příkladu České Kanady. *Historická geografie*, 32, 115–134.
- Chromý, P., Jančák, V., Winklerová, J. (2003): Land use changes in the peripheral regions of Czechia. *AUC Geographica*, 38, 1, 95–103.
- Chromý, P., Rašín, R. (2006): Hodnocení interakce společnost–příroda v krajině českého pohraničí aneb spor o hodnotu pramene historickogeografického poznání. In: *Historická krajina a mapové bohatství Česka*. *Historická geografie – Supplementum I*, Historický ústav AV ČR, Praha, 205–219.
- Chromý, P., Skála, J. (2010): Kulturněgeografické aspekty rozvoje příráníčních periferií: analýza vybraných složek územní identity obyvatelstva Sušicka. *Geografie*, 115, 2, 223–246.
- Chuman, T., Romportl, D. (2010): Multivariate classification analysis of cultural landscapes: An example from the Czech Republic. *Landscape and Urban Planning*, 98/3–4, 200–209.
- Chuman, T., Romportl, D., Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J. (2013): Změny krajinného pokryvu a struktury krajiny v České republice vlivem suburbanizace. In: Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J., eds.: *Sub Urbs: krajina, sídla a lidé*. Academia, Praha. 112–118.
- Chytilová, B. (v přípravě): Optimalizace tvorby trénovacího a validačního datasetu pro zvýšení přesnosti klasifikace v DPZ. Diplomová práce. PŘF UK, Praha.
- ICP Forests (2010): *ICP Forests Manual*. International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests. Dostupné z: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual> (18. 1. 2019).
- Indrová, M. (2012): Srovnání možností software Dyna-CLUE a Land Change Modeler pro predikční modelování suburbánního rozvoje modelového území v zázemí Prahy. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Praha.
- Indrová, M., Kupková, L. (2015): Změny využití krajiny v suburbánní zóně Prahy v různých přístupech predikčního modelování. *Geografie*, 120, 3, 426–447.

- IPCC (2015): Climate Change 2014: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (18. 1. 2019).
- Ivanička, K. (1971): Úvod do ekonomicko-geografického výzkumu. Vydavatelstvo SAL, Bratislava.
- Jacquemoud, S., Verhoef, W., Baret, F., Bacour, C., Zarco-Tejada, P. J., Asner, G. P., François, C., Ustin, S. L. (2009): PROSPECT+SAIL Models: A Review of Use for Vegetation Characterization. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1, S56–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.01.026>.
- Jamali, S. (2015): Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation. *Remote Sensing of Environment*, 156, 182–195. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.010>.
- Janáč, J., Jeleček, L., Chromý, P. (2010): LUCC in East Central and Southeast Europe post-communist countries from 1960s to the end of the 20th century and its historic-geographical roots. *AUC Geographica*, XLV, 2, 19–30.
- Jančák, V., Chromý, P., Marada, M., Havlíček, T., Vondráčková, P. (2010): Sociální kapitál jako faktor rozvoje periferních oblastí: analýza vybraných složek sociálního kapitálu v typově odlišných periferiích Česka. *Geografie*, 115, 2, 207–222.
- Janssens-Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Dentener, F., Muntean, M., Pouliot, G., Keating, T., Zhang, Q., Kurokawa, J., Wankmüller, R., Gon, H. D. van der, Kuenen, J. J. P., Klimont, Z., Frost, G., Darras, S., Koffi, B., Li, M. (2015): HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 11411–11432. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-15-11411-2015>.
- Jarocińska, A. M. (2014): Radiative Transfer Model Parametrization for Simulating the Reflectance of Meadow Vegetation. *Miscellanea Geographica*, 18, 2. DOI: <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2014-0001>.
- Jeleček, L. (1985): Zemědělství a půdní fond v Čechách ve 2. polovině 19. století. *Academia*, Praha.
- Jeleček, L. (2002): Historical development of society and LUCC in Czechia 1800–2000: major societal driving forces of land use changes. In: Bičík, I., Chromý, P., Jančák, V., Janů, H., eds.: *Land Use/Land Cover Changes in the Period of Globalization. Proceedings of the IGU-LUCC International Conference, Prague, 2001*. KSGRR PŘF UK, Praha, 44–57.
- Jeleček, L. (2006): Land Rent. In: Geist, H., ed.: *Our Earth Changing Land, An Encyclopedia of Land-Use and Land-Cover Change – Volume 2*, Greenwood Press, London, 356–357.
- Jeleček, L. (2007): Environmentalizace vědy, geografie a historické geografie: environmentální dějiny a výzkum změn land use Česka v 19. a 20. století. *Klaudyán*, 4, 1, 21–28.
- Jeleček, L., (1995): Využití půdního fondu České republiky 1845–1995: hlavní trendy a širší souvislosti. *Geografie–Sborník ČGS*, 100, 4, 276–291.
- Jeleček, L., Bičík, I., Štych, P., Bláha, J. D. (2012): Case study area Kobylí: change of land use patterns 1827–2001. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Štych, P., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume VII. Issued by International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change. Faculty of Science, Charles University, Prague. Hokkaido University of Education, Asahikawa*, 43–48.
- Jensen, J. R. (2005): *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall.
- Jepsen, M. R. et al. (2015): Transitions in European land-management regimes between 1800 and 2010. *Land Use Policy*, 49, 53–64.
- Jerrentrup, J. S., Dauber, J., Strohbach, M. W., Mecke, S., Mitschke, A., Ludwig, J., Klimek, S. (2017): Impact of recent changes in agricultural land use on farmland bird trends. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239, 334–341.
- Johnston, R. J., Gregory, D., Pratt, G., Watts, M. (2001): *The dictionary of human geography*. 4th edition, Blackwell Publisher Inc., Oxford.
- Joshi, N., Baumann, M., Ehammer, A., Fensholt, R., Grogan, K., Hostert, P., Jepsen, M. R., Kuemmerle, T., Meyfroidt, P., Mitchard, E. T. (2016): A Review of the Application of Optical and Radar Remote Sensing Data Fusion to Land Use Mapping and Monitoring, *Remote Sensing*, 8, 70.

- Jung, M., Henkel, K., Herold, M., Churkina, G. (2006): Exploiting synergies of global land cover products for carbon cycle modeling. *Remote Sens. Environ.*, 101, 534–553.
- Justice, C. O., Gutman, G., Vadvu, K. P. (2015): NASA Land Cover and Land Use Change (LCLUC): An interdisciplinary research program. *Journal of Environmental Management*, 148, 4–9.
- Justice, C. O., Townshend, J. R. G. (1981): A comparison of unsupervised classification procedures using Landsat MSS data for an area of complex surface conditions in Basilicata, southern Italy. *Remote Sensing of Environment*, 12, 407–420.
- Kabrda, J. (2009): Změny prostorového vzorce využití ploch v České republice a jejich příčiny. Dizertační práce. PřF UK Praha.
- Kabrda, J., Jančák, V. (2007): Vliv vybraných politických a institucionálních faktorů na české zemědělství a krajinu. *Geografie–Sborník České geografické společnosti*, 112, 1, 48–60.
- Kauffman, S. (1995): *At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press.
- Knorn, J., Kuemmerle, T., Radeloff, V. C., Keeton, W. S., Gancz, V., Biriž, I.-A., Svoboda, M., Griffiths, P., Hagatis, A., Hostert, P. (2013): Continued loss of temperate old-growth forests in the Romanian Carpathians despite an increasing protected area network. *Environmental Conservation*, 40, 182–193.
- Kodir, A., Hartono, D. M., Haeruman, H., Mansur, I. (2017): Integrated post mining landscape for sustainable land use: A case study in South Sumatera, Indonesia. *Sustainable Environment Research*, 27, 4, 203–213.
- Kokaly, R., Clark, R. (1999): Spectroscopic Determination of Leaf Biochemistry Using Band-Depth Analysis of Absorption Features and Stepwise Multiple Linear Regression. *Remote Sensing of Environment*, 67, 3, 267–287. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00084-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00084-4).
- Kolář, J. (1990): *Dálkový průzkum země, SNTL, Praha*.
- Kolář, J. (1998): *Geografické informační systémy 10*. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- Kolejka, J., Klimánek, M. (2015): Identification and Typology of Czech Postindustrial Landscapes on National Level Using GIS and Publicly Accessed Geodatabases. *Ekológia (Bratislava)*, Berlin: De Gruyter, 34, 2, 121–136. DOI: 10.1515/eko-2015-0013.
- Kolejka, J., Rapant, P. et al. (2015): Scénáře podpory krizového řízení geoinformačními technologiemi Optimalizace aktivit při bleskové povodni, při ohrožení svahovými pohyby a toxické havárii na silnici a železnici. Ústav geoniky AV ČR a Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- Kopačková, V., Lhotáková, Z., Oulehle, F., Albrechtová, J. (2015): Assessing forest health via linking the geochemical properties of a soil profile with the biochemical parameters of vegetation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 6, 1987–2002. DOI: 10.1007/s13762-014-0602-3.
- Kopačková, V., Mišurec, J., Lhotáková, Z., Oulehle, F., Albrechtová, J. (2014): Using multi-date high spectral resolution data to assess the physiological status of macroscopically undamaged foliage on a regional scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27, Part B, 169–186.
- Kopecká, M. (2006): Identifikácia a hodnotenie zmien krajiny vo veľkej mierke (na príklade okolia Trnavy). *Geografický časopis*, 58, 2, 125–148.
- Kopecký, M., Vojta, J. (2009): Land use legacies in post-agricultural forests in the Doupovské Mountains, Czech Republic. *Applied Vegetation Science*, 12, 2, 251–260. DOI: 10.1111/j.1654-109X.2009.01023.x.
- Kopp, J., Novotná, M. (2008): Krajinně-ekologické a environmentální změny na Plzeňsku v transformačním období. *Geografické informace*, 12, 1, 16–23.
- Kovář, P., Veselý, A., Vojta, J., Klárová, M., Wiesner, P., Drhovská, L. (2014): Consequences of arable land abandonment for the diversity of plant communities. In: Maděra, P., Kovář, P., Romportl, D., Buček, A., eds.: *Czech villages in Romanian Banat: Landscape, nature, and culture*. Brno, Mendel University. DOI: 10.13140/2.1.3395.0403.
- Král, K. (2009): Classification of Current Vegetation Cover and Alpine Treeline Ecotone in the Praděd Reserve (Czech Republic), Using Remote Sensing. *Mountain Research and Development*, 29, 2. DOI: <https://doi.org/10.1659/mrd.1077>.

- Královec, V., Kliment, Z., Matoušková, M. (2016): Evaluation of runoff response on the basis of a comparative paired research in mountain catchments with the different land use. Case study of the Blanice River, Czechia. *Geografie*, 121, 2, 209–234.
- Krausmann, F., Haberl, H., Schulz, N. B., Erb, K., Darge, E., Gaube V. (2003): Land-use change and socio-economic metabolism in Austria – Part I: driving forces of land-use change: 1950–1995. *Land Use Policy*, 20, 1, 21–39.
- Krejčí, L., Kolečka, J., Voženílek, V., Machar, I. (2018): Application of GIS to Empirical Windthrow Risk Model in Mountain Forested Landscapes. *Forests*, Basel: MDPI AG, 9, 2, 96–118. DOI: 10.3390/f9020096.
- Kučera, Z., Chromý, P. (2012): Depopulation, resettlement and landscape changes in the peripheries of the Czech borderland. In: Paniagua, Á., Bryant, R., Kizos, T., eds.: *The Political Ecology of Depopulation. Inequality, Landscape, and People*. Rolde Foundation-CeDDaR, Zaragoza, 191–213.
- Kuemmerle, T., Hostert, P., Radeloff, V. C., Linden, S. van der, Perzanowski, K., Kruhlov, I. (2008): Cross-border comparison of Post-socialist Farmland abandonment in the Carpathians. *Ecosystems*, 11, 614–628.
- Kuemmerle, T., Müller, D., Griffiths, P., Rusu, M. (2009): Land use change in Southern Romania after the collapse of socialism. *Reg. Environ. Change*, 9, 1–12.
- Kuemmerle, T., Oloffson, P., Chaskovskyy, O., Baumann, M., Ostapowicz, K., Woodcock, C. E., Houghton, R. A., Hostert, P., Keeton, W. S., Radeloff, V. C. (2011): Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 17, 1335–1349.
- Kupková, L. (1998): Changing Land-Use Patterns in Semily District 1845–1995. *Acta Universitatis Carolinae, Environmentalica*, 10, 15–35.
- Kupková, L. (2001): Analýza vývoje české kulturní krajiny v období 1845–2000. Dizertační práce. PřF UK, Praha.
- Kupková, L., Bičík, I. (2016): Landscape transition after the collapse of communism in Czechia. *Journal of Maps*, 12, 526–531.
- Kupková, L., Bičík, I., Najman, J. (2013): Land Cover Changes along the Iron Curtain 1990–2006. *Geografie* 118, 2, 95–115.
- Kupková, L., Červená, L., Suchá, R., Zagajewski, B., Březina, S., Albrechtová, J. (2017): Classification of Tundra Vegetation in the Krkonoše Mts. National Park Using APEX, AISA Dual and Sentinel-2A Data. *European Journal of Remote Sensing*, 50, 1, 29–46.
- Kupková, L., Himiyama, Y., eds. (2018): *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume XIII*. Issued by International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change and Hokkaido University of Education, Asahikawa.
- Kupková, L., Ouředníček, M. (2013): Hodnocení intenzity, prostorového rozložení a dopadů suburbanizace v zázemí Prahy s využitím dat DPZ. In: Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J., eds.: *Sub Urbs: krajina, sídla a lidé*. Academia, Praha. 119–149.
- Kupková, L., Potůčková, M., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2018): Forest cover and disturbance changes, and their driving forces: A case study in the Ore Mountains, Czechia, heavily affected by anthropogenic acidic pollution in the second half of the 20th century. *Environmental Research Letters*, 13, 9.
- Kušková, P. (2003): The Ecological Footprint (EF) of the Czech Republic – Why to use the Footprint and how to improve the methodology? In: *Sborník z konference International Conference on Sustainability Indicators*, Valleta, 6.–8. listopadu 2003, Valleta. 28–36.
- Kycko, M., Zagajewski, B., Lavender, S., Romanowska, E., Zwijacz-Kozica, M. (2018): The Impact of Tourist Traffic on the Condition and Cell Structures of Alpine Swards. *Remote Sens.* 10, 2, 220. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10020220>.
- Lambert, J. P. T., Hicks, H. L., Childs, D. Z., Freckleton, R.P. (2018): Evaluating the potential of Unmanned Aerial Systems for mapping weeds at field scales: a case study with *Alopecurus myosuroides*. *Weed Research*, 58, 35–45.

- Lambert, N. J., Ardo, J., Rock, B. N., Vogelmann, J. E. (1995): Spectral characterization and regression-based classification of forest damage in Norway spruce stands in the Czech Republic using Landsat Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 16, 1261–1287.
- Lambin, E. F., Geist, H., eds. (2006): *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Lambin, E. F., Meyfroidt, P. (2011): Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc Natl Acad Sci*, 108, 9, 3465–3472. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>.
- Lambin, E. F., Rounsevell, M. D. A., Geist, H. J. (2000): Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82, 1–3, 321–331.
- Langhammer, J., ed. (2007): *Povodně a změny v krajině*. PřF UK a MŽP, Praha.
- Langhammer, J., Vilímek, V. (2008): Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava River basin, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 1–3, 53–66.
- Laurent, V. C. E., Verhoef, W., Damm, A., Schaepman, M. E., Clevers, J. G. P. W. (2013): A Bayesian object-based approach for estimating vegetation biophysical and biochemical variables from APEX at-sensor radiance data. *Remote Sens. Environ.*, 139, 6–17.
- Levers, C., Butsic, V., Verburg, P. H., Müller, D., Kuemmerle, T. (2016): Drivers of changes in agricultural intensity in Europe. *Land Use Policy*, 58, 380–393.
- Levers, C., Müller, D., Erb, K. H., Haberl, H., Jepsen, R. M., Metzger, M. J., Meyfroidt, P., Plieninger, T., Plutzer, C., Stürck, J., Verburg, P. H., Verkerk, P. J., Kuemmerle, T. (2018): Archetypical patterns and trajectories of land systems in Europe. *Reg Environ Change*, 18, 715–732.
- Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2017): Nespecifické indikátory fyziologického stavu listoví: laboratorní biochemické analýzy. In: Albrechtová, J., Kupková, L., Campbell, P. K. E., eds.: *Metody hodnocení fyziologického stavu smrkových porostů: případová studie sledování vývoje stavu smrkových porostů v Krušných horách v letech 1998–2013*. Geographica. Praha: Česká geografická společnost. 161–175.
- Lhotáková, Z., Brodský, L., Kupková, L., Kopačková, V., Potůčková, M., Mišurec, J., Klement, A., Kovářová, M., Albrechtová, J. (2013): Detection of multiple stresses in Scots pine growing at post-mining sites using visible to near-infrared spectroscopy. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 15, 2004–2015. DOI: 10.1039/C3EM00388D.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., Wu, C. (2014): A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: The Role of Spatio-Contextual Information. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 1, 389–411.
- Liang, S. (2004): *Quantitative remote sensing of land surfaces*. Wiley, Hoboken, N. J.
- Liang, S., ed. (2017): *Comprehensive remote sensing*. Elsevier.
- Lieskovský, J., Kaim, D., Balázs, P., Boltížiar, M., Chmiel, M., Grabska, E., Király, G., Konkoly-Gyuró, E., Kozak, J., Antalová, K., Kuchma, T., Mackovčin, P., Mojses, M., Munteanu, C., Ostafin, K., Ostapowicz, K., Shandra, O., Štych, P., Radeloff, V. C. (2018): Historical land use dataset of the Carpathian region (1819–1980). *Journal of Maps*, 14, 2, 644–651.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (2004): *Remote sensing and image interpretation*. Fifth Edition. Wiley.
- Lindenlaub, J. C., Phillips, T. L., Swain P. H. (1973): *The Role of Computer Networks in Remote Sensing Data Analysis*. LARS, Purdue University, 1A–12, 7.
- Lipský, Z. (1992): Use of historic documents about territory for study of landscape development. *Ecological Stability of Landscape, Ecological Infrastructure, Ecological Management*. Institute of Applied Ecology, Kostelec n. Č. l., 77–84.
- Lipský, Z. (1994): Změna struktury české venkovské krajiny. *Sborník ČGS 99*, 4, 248–260.
- Lipský, Z. (1995): The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning*, 31, 1, 39–45.
- Lipský, Z. (1996): Historical development of the Czech rural Landscape used to its present ecological stabilization. *Ekológia*, 15, 1.

- Lipský, Z. (1997): Land use changes and their environmental consequences in the Czech landscape. In: Jongman, R. H. G., ed.: *Ecological and Landscape Consequences of Land Use Change in Europe*. ECNC publications on Man and Nature, Vol. 2, European Centre for Nature Conservation, Tilburg, 350–360.
- Lipský, Z. (1999): *Krajinná ekologie pro studenty geografických oborů*. Karolinum, Praha.
- Lipský, Z. (2010): Kam se ubírá česká krajina? *Geographia Cassoviensis*, IV, 77–83.
- Lipský, Z., Kopecký, M., Kvapil, D. (1999): Present land use changes in the Czech cultural landscape. *Ekológia*, 18, 1, 31–38.
- Lipský, Z., Kukla, P. (2012): Mapping and typology of unused lands in the territory of the town Kutná Hora (Czech Republic), *AUC Geographica*, 47, 1, 65–71.
- Lipský, Z., Kvapil, D. (1998): Present land use changes in the Czech rural landscape: causes and consequences. In: *Key Concepts in Landscape Ecology*, IALE (UK), IALE European Congress, Preston, 117–122.
- Liu, J., Liu, M., Zhuang, D., Zhang, Z., Deng, X. (2003): Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995–2000. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 46, 4, 373–384.
- Long, H. L., Li, Y. R., Liu, Y. S., Woods, M., Zou, J. (2012): Accelerated restructuring in rural China fueled by “increasing vs. decreasing balance” land-use policy for dealing with hollowed villages. *Land Use Policy*, 29, 11–22.
- Lukeš, P., Homolová, L., Navrátil, M., Hanuš, J. (2017): Assessing the Consistency of Optical Properties Measured in Four Integrating Spheres. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 13, 3817–3830. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1306144>.
- Lukeš, P., Stenberg, P., Rautiainen, M., Möttus, M., Vanhatalo, K. M. (2013): Optical Properties of Leaves and Needles for Boreal Tree Species in Europe. *Remote Sensing Letters*, 4, 7, 667–676. DOI: <https://doi.org/10.1080/2150704X.2013.782112>.
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., Liu, Y. (2017): A review of supervised object-based land-cover image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 277–293.
- MacArthur, R. H., Wilson, E. O. (1967): *The theory of Island Biogeography*. Princeton, Princeton University Press.
- Mackovčín, P., Demek, J., Slavík, P. (2012): Změny interakce mezi přírodou společností v krajině 1836–2006: Případová studie sv. část České republiky. *Acta Pruhoniceana*, 100, 63–72.
- Magliocca, N. R., Vliet, J. van, Brown, C., Evans, T. P., Houet, T., Messerli, P., Messina, J. P., Nicholas, K., Ornetmüller, C., Sagebiel, J., Schweizer, V., Verburg, P. H., Yu, Q. (2015): From meta-studies to modeling: using synthesis knowledge to build broadly applicable process-based land change models. *Environ. Model. Softw.*, 72, 10–20. DOI: 10.1016/j.envsoft.2015.06.009.
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W. (1997): *Geographic Information Systems: principles, and applications*. Longman Scientific and Technical, Harlow.
- Machar, I., Vlckova, V., Bucek, A., Vozenilek, V., Salek, L., Jerabkova, L. (2017a): Modelling of Climate Conditions in Forest Vegetation Zones as a Support Tool for Forest Management Strategy in European Beech Dominated Forests. *Forests*, 8, 81, 1–17.
- Machar, I., Voženílek, V., Simon, J., Pechanec, V., Brus, J., Fulneček, P., Vítek, T. (2017b): Joining of the historical research and future prediction as a support tool for the assessment of management strategy for European beech-dominated forests in protected areas. *Nature conservation – Bulgaria*, 22, 51–78.
- Malenovský, Z., Homolová, L., Zurita-Milla, R., Lukeš, P., Kaplan, V., Hanuš, J., Gastellu-Etchegorry, J.-P., Schaepman, M. E. (2013): Retrieval of Spruce Leaf Chlorophyll Content from Airborne Image Data Using Continuum Removal and Radiative Transfer. *Remote Sensing of Environment*, 131, 85–102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.015>.
- Manakos, I., Tomaszewska, M., Gkinis, I., Brovkina, O., Filchev, L., Genc, L., Gitas, I. Z., Halabuk, A., Inalpulat, M., Irimescu, A., Jelev, G., Karantzalos, K., Katagis, T., Kupková, L., Lavreniuk, M., Mesaroš, M., Mihalescu, D., Nita, M., Rusnak, T., Stych, P., Zemek, F., Albrechtová, J., Campbell, P. (2018): Comparison of Global and Continental Land Cover Products for Selected Study Areas in South Central and Eastern European Region. *Remote Sensing*, 10, 12, 1967.

- Marcinkowska-Ochtyra, A., Zagajewski, B., Ochtyra, A., Jarocińska, A., Wojtuń, B., Rogass, C., Mielke, C., Lavender, S. (2017): Subalpine and alpine vegetation classification based on hyperspectral APEX and simulated EnMAP images. *Int. J. Remote Sens.*, 38, 1839–1864.
- Marcinkowska-Ochtyra, A., Zagajewski, B., Raczko, E., Ochtyra, A., Jarocińska, A. (2018): Classification of High-Mountain Vegetation Communities within a Diverse Giant Mountains Ecosystem Using Airborne APEX Hyperspectral Imagery. *Remote Sens.* 10, 570.
- Marschner, F. J. (1958): Land Use and Its Patterns in the United States. *Agricultural Handbook*, U.S., Department of Agriculture, Washington, D.C., 153–277.
- Masser, I. (2005): *GIS Worlds: Creating Spatial Data Infrastructures*. Redlands, CA, ESRI Press.
- Mather, A. S. (2002): The reversal of land-use trends: the beginning of the reforestation of Europe. In: Bičič, I. et al., eds.: *Land Use/Land Cover Changes in the Period of Globalization*. Proceedings of the IGU-LUCC International Conference, Prague, 2001.
- Mather, A. S. (2006): Driving Forces. In: Geist, H., ed.: *Our Earth's Changing Land: An Encyclopedia of Land-Use and Land-Cover Change*. Westport, CT, USA, Greenwood Publishing Group.
- Matoušková, E., Pavelka, K. (2012): Temporal analysis of vegetation changes in Ore Mountains (Black triangle, Czech Republic) by using remote sensing. In: Yifang, B., ed.: *Proceedings of 1st Workshop on Temporal Analysis of Satellite Images*, Mykonos. Paris, Earsel. 247–254. Dostupné z: <http://www.earsel.org/SIG/timeseries/proceedings.php> (25. 11. 2016).
- McConnell, W. J., Keys, E. (2005): Meta-analysis of agricultural change. In: Moran, E. F., Ostrom, E., eds.: *Seeing the Forest and the Trees. Human-Environment Interactions in Forest Ecosystems*. MIT Press, Cambridge, 325–354.
- Mevik, B. H., Wehrens, R. (2007): The pls Package: Principal Component and Partial Least Squares Regression in R. *Journal of Statistical Software*, 18, 2, 1–23.
- Meyfroidt, P. (2016): Approaches and terminology for causal analysis in land system science. *Journal of Land Use Science*, 11, 501–522.
- Meyfroidt, P., Lambin, E. F. (2011): Global forest transition: Prospects for an end to deforestation. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 343–371.
- Meyfroidt, P., Lambin, E. F., Erb, K. H., Hertel, T. W. (2013): Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 438–444.
- Middleton, E. M., Cheng, Y., Hilker, T. et al. (2009): Linking foliage spectral responses to canopy-level ecosystem photosynthetic light-use efficiency at a Douglas-fir forest in Canada. *Canadian J Remote Sens.*, 35, 2, 166–188.
- Miklós, L., ed. (2002): *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenská agentúra životného prostredia, Bratislava.
- Minařík, R., Langhammer, J. (2016): Use of a Multispectral UAV Photogrammetry for Detection and Tracking of Forest Disturbance Dynamics. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B8, 711–718. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-711-2016>.
- Miřijovský, J., Pechanec, V., Burian, J. (2012): Využití bezpilotního modelu PIXY při snímání krajiny. *Informace ČGS*, 31, 1, 11–17.
- Mišurec, J. (2017): Application of imaging spectroscopy in monitoring of vegetation stress caused by soil pollutants in the Sokolov lignite basin. *Dizertační práce*. PŘF UK Praha.
- Mišurec, J., Kopačková, V., Lhotáková, Z., Campbell, P., Albrechtová, J. (2016): Detection of Spatio-Temporal Changes of Norway Spruce Forest Stands in Ore Mountains Using Landsat Time Series and Airborne Hyperspectral Imagery. *Remote Sensing* 8, 2, 92. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8020092>.
- Molinario, G., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Stehman, S., Barker, B., Humber, M. (2017): Quantification of land cover and land use within the rural complex of the Democratic Republic of Congo. *Environmental Research Letters*, 12, 104001.

- Moody, D. I., Brumby, S. P., Rowland, J. C., Altmann, G. L. (2014): Land cover classification in multispectral imagery using clustering of sparse approximations over learned feature dictionaries. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8, 1, 84793. DOI: <http://dx.doi.org/10.1117/1.JRS.8.084793>.
- Mountrakis, G., Im, J., Ogole, C. (2011): Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 3, 247–259. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>.
- Mu, L. et al. (2018): Arctic-wide sea ice thickness estimates from combining satellite remote sensing data and a dynamic ice – ocean model with data assimilation during the CryoSat-2 period. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123, 7763–7780. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JC014316>.
- Müller, H., Griffiths, P., Hostert, P. (2016): Long-term deforestation dynamics in the Brazilian Amazon – Uncovering historic frontier development along the Cuiabá–Santarém highway. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 44, 61–69.
- Müllerová, J. (2005): Use of digital aerial photography for sub-alpine vegetation mapping: A case study from the Krkonoše Mts., Czech Republic. *Plant Ecology* 175, 259–272.
- Müllerová, J., Bartaloš, T., Brůna, J., Dvořák, P., Vítková, M. (2017): Unmanned aircraft in nature conservation – an example from plant invasions. *International Journal of Remote Sensing*, 38, 8–10, 2177–2198.
- Munne-Bosch, S., Alegre, L. (2004): Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31, 3, 203–216.
- Munteanu, C., Kuemmerle, T., Alix-Garcia, J., Boltziar, M., Butsic, V., Gimmi, U., Halada, L., Kaim, D., Kiraly, G., Konkoly-Gyuro, E., Kozak, J., Lieskovsky, J., Mojses, M., Müller, D., Ostafin, K., Ostapowicz, K., Shandra, O., Stych, P., Walker, S., Radeloff, V. C. (2014): Forest and agricultural land change in the Carpathian region – a meta-analysis of long-term patterns and drivers of change. *Land Use Policy*, 38, 685–697.
- Munteanu, C., Radeloff, V., Griffiths, P., Halada, L., Kaim, D., Knorn, J., Kozak, J., Kuemmerle, T., Lieskovsky, J., Müller, D., Ostapowicz, K., Shandra, O., Stych, P. (2017): Land Change in the Carpathian Region Before and After Major Institutional Changes. In: Gutman, G., Radeloff, V. C., eds.: *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*. Springer International Publishing. 57–90.
- Muttiah, R. S. (2002): *From laboratory spectroscopy to remotely sensed spectra of terrestrial ecosystems*. Springer. DOI: 10.1007/978-94-017-1620-8.
- NASA (2017): Missions: Earth Observing System (EOS). Dostupné z: <https://eosps.nasa.gov/mission-category/3> (19. 1. 2019).
- Nedbal, R. (2017): Parametrizace modelu Land Change Modeler pro podmínky ČR. Olomouc. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta.
- Neuwirthová, E., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2017): The Effect of Leaf Stacking on Leaf Reflectance and Vegetation Indices Measured by Contact Probe during the Season. *Sensors* 17, 6, 1202. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17061202>.
- Niedrist, G., Tasser, E., Lüth, C. et al. (2009): Plant diversity declines with recent land use changes in European Alps. *Plant Ecol*, 202, 195. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9487-x>.
- Novotná, M. (2000): Hodnocení zemědělského využívání krajiny v pohraničním regionu Pošumaví, *Geografie*, 105, 1, 34–40.
- OECD (1993): OECD core set of indicators for environmental performance reviews. A synthesis report by the Group on the State of the Environment. OECD/GD(93)179, Paris.
- Pavelka, K. (1997): Monitorování změn lesních porostů v Krušných horách pomocí dálkového průzkumu Země. In: Voženílek V., ed.: *Kartografie na přelomu tisíciletí. Sborník příspěvků 12. kartografické konference*, 16.–18. září 1997, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 31–37.
- Pavelka, K. (2016): Drony všude nad námi. Tzbinfo. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/14444-drony-vsude-nad-nami> (4. 1. 2019).

- Pavelka, K., Hanuš, J., Raeva, P. (2018): Using of both hyperspectral aerial sensing and RPAS multispectral sensing for potential archaeological sites detection. Proc. SPIE 10780, Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Remote Sensing Technology, Techniques and Applications VII, 1078016 (23 October 2018). DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2324299>.
- Pazúr, R., Feranec, J., Štych, P., Kopecká, M., Holman, L. (2017): Changes of urbanised landscape identified and assessed by the urban atlas data: Case study of Prague and Bratislava. *Land Use Policy*, 61, 135–146.
- Pekár, S., Brabec, M. (2009): *Moderní analýza biologických dat*. Scientia, Praha.
- Pirrone, N., Trombino, G., Cinnirella, S., Algieri, A., Bendoricchio, G., Palmeri, L. (2005): The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. *Regional Environmental Change* [online]. 5, 2–3, 111–137. DOI: 10.1007/s10113-004-0092-9. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10113-004-0092-9> (10. 1. 2019).
- Plieninger, T., Draux, H., Fagerholm, N., Bieling, C., Bürgi, M., Kizos, T., Kuemmerle, T., Primdahl, J., Verburg, P. H. (2016): The driving forces of landscape change in Europe: a systematic review of the evidence. *Land Use Policy*, 57, 204–214.
- Popelková, R., Mulková, M. (2018): The mining landscape of the Ostrava-Karviná coalfield: Processes of landscape change from the 1830s to the beginning of the 21st century. *Applied Geography*, 90, 28–43.
- Potůčková, M., Červená, L., Kupková, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2016): Statistical comparison of spectral and biochemical measurements on an example of Norway spruce stands in the Ore Mountains, Czech Republic. *Geoinformatics FCE CTU*, 15, 69–83.
- Potůčková, M., Červená, L., Kupková, L., Lhotáková, Z., Lukeš, P., Hanuš, J., Novotný, J., Albrechtová, J. (2016): Comparison of Reflectance Measurements Acquired with a Contact Probe and an Integration Sphere: Implications for the Spectral Properties of Vegetation at a Leaf Level. *Sensors*, 16, 1801.
- Pu, R. (2017): *Hyperspectral remote sensing: fundamentals and practices*. Taylor & Francis.
- Purš, J. (1973): *Průmyslová revoluce, vývoj pojmu a koncepce*. Praha.
- Raczko, E., Zagajewski, B. (2017): Comparison of Support Vector Machine, Random Forest and Neural Network Classifiers for Tree Species Classification on Airborne Hyperspectral APEX images. *Eur. J. Remote Sens.*, 50, 144–154.
- Radeloff, V. C., Nelson, E., Plantinga, A. J., Lewis, D. J., Helmers, D., Lawler, J. J., Withey, J.C., Beaudry, F., Martinuzzi, S., Butsic, V., Lonsdorf, E., White, D., Polasky, S. (2012): Economic-based projections of future land use in the conterminous United States under alternative policy scenarios. *Journal Ecological Applications*, 22, 3, 1036–1049.
- Rapant, P. (2006): *Geoinformatika a geoinformační technologie*. VŠB-TU, Ostrava.
- Rašín, R., Chromý, P. (2010): Land Use and Land Cover Development Along the Czech-Austrian Boundary. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., eds.: *Land Use/Cover Change in Selected Regions in the World*. Vol. V, Part VII. Issued by IGU Commission on LUCC. IGU-LUCC Research Reports. Institute of Geography, Hokkaido Univ. of Education, Asahikawa. 57–65.
- Rautiainen, M., Lukeš, P., Homolová, L., Hovi, A., Pisek, J., Möttus, M. (2018): Spectral Properties of Coniferous Forests: A Review of In Situ and Laboratory Measurements. *Remote Sensing*, 10, 2, 207. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10020207>.
- Reichle, L. M., Epstein, H. E., Bhatt, U. S., Reynolds, M. K., Walker, D. A. (2018): Spatial Heterogeneity of the Temporal Dynamics of Arctic Tundra Vegetation. *Geophysical Research Letters*. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018GL078820>.
- Röder, M., Latifi, H., Hill, S., Wild, J., Svoboda, M., Brůna, J., Macek, M., Nováková, M. H., Gülch, E., Heurich, M. (2018): Application of optical unmanned aerial vehicle-based imagery for the inventory of natural regeneration and standing deadwood in post-disturbed spruce forests. *International Journal of Remote Sensing*, 39, 15–16, 5288–5309. DOI: 10.1080/01431161.2018.1441568.
- Roubalová, M. (2017): *Klasifikace vybraných vegetačních kategorií land cover v krkonošské tundře z dat Sentinel-2A s využitím časové řady dat*. Bakalářská práce. PřF UK Praha.

- Roubalová, M. (v přípravě): Klasifikace vybraných druhů vegetace v krkonošské tundře s využitím časové řady dat PlanetScope. PŘF UK, Praha.
- Roy, P. S., Giriraj, A. (2008): Land Use and Land Cover Analysis in Indian Context. *Journal of Applied Sciences*, 8, 1346–1353.
- Rudel, T. K. (2008): Meta-analyses of case studies: A method for studying regional and global environmental change. *Global Environmental Change*, 18, 18–25.
- Runyan, C. W., D'Odorico, P. (2016): *Global deforestation*. Cambridge University Press, New York.
- Růžička M. (1999): Metodika LANDEP a jej uplatnenie v krajinoekologickom výskume a praxi. *Životné prostredie*, 33, 1, 5–10.
- Růžička, M., Růžičková, H., Žigrai, F. (1978): Krajinné zložky, prvky a štruktúra v biologickom plánovaní krajiny. *Quaestiones Geobiologicae*, 23, 7–63.
- Sampson, P. H., Zarco-Tejada, P. J., Mohammed, G. H., Miller, J. R., Noland, T. L. (2003): Hyperspectral Remote Sensing of Forest Condition: Estimating Chlorophyll Content in Tolerant Hardwoods. *Forest Science*, 49, 3, 381–391. DOI: <https://doi.org/10.1093/forests/49.3.381>.
- Santos, S., Meneses, P., Hostert, P. (2018): Monitoring long-term forest dynamics with scarce data: a multi-date classification implementation in the Ecuadorian Amazon. *European Journal of Remote Sensing*. DOI: 10.1080/22797254.2018.1533793.
- Sayer, A. (1992): *Method in social science: A realist approach*. Routledge, London.
- Semotanová, E., Cajthaml, J. et al. (2014): *Akademický atlas českých dějin*. Academia, Praha.
- Senf, C., Campbell, E., Wulder, M. A., Pflugmacher, D., Hostert P. (2017): A multi-scale analysis of western spruce budworm spatiotemporal outbreak patterns. *Landscape Ecology*, 32, 3, 501–514. DOI: 10.1007/s10980-016-0460-0.
- Senf, C., Seidl, R. (2018): Natural disturbances are spatially diverse but temporally synchronized across temperate forest landscapes in Europe. *Global Change Biology*, 24, 3, 1201–1211. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13897>.
- Senf, C., Seidl, R., Hostert, P. (2017): Remote sensing of forest insect disturbances: Current state and future directions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 60, 49–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.04.004>.
- Schlerf, M., Atzberger, C. (2006): Inversion of a forest reflectance model to estimate structural canopy variables from hyperspectral remote sensing data. *Remote Sens. Environ.*, 100, 281–294. DOI: 10.1016/j.rse.2005.10.006.
- Schulz, J. J. et al. (2010): Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975–2008). *Applied Geography*, 30, 436–447.
- Siriwardena, L., Finlayson, B. L., McMahona, T. A. (2006): The impact of land use change on catchment hydrology in large catchments: The Comet River, Central Queensland, Australia. *Journal of Hydrology*, 326, 1–4, 199–214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.10.030>.
- Skaloš, J., Tobolová, B., Trpáková, I., Šantrůčková, M., Podrázský, V. (2012): Long-term changes in forest cover 1780–2007 in Central Bohemia, Czech Republic. *European Journal of Forest Research*, 131, 3, 871–884.
- Skidmore, A. K., Turner, B. J. (1988): Forest mapping accuracies are improved using a supervised nonparametric classifier with SPOT data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54, 10, 1415–1421.
- Sklenicka, P. (2016): Classification of farmland ownership fragmentation as a cause of land degradation: A review on typology, consequences, and remedies. *Land Use Policy*, 57, 694–701.
- Sklenicka, P., Janovska, V., Salek, M., Vlasak, J., Molnarova, K. (2014): The Farmland Rental Paradox: Extreme land ownership fragmentation as a new form of land degradation. *Land Use Policy*, 38, 587–593.
- Sklenicka, P., Kottová, B., Šálek, M. (2017a): Success in preserving historic rural landscapes under various policy measures: Incentives, restrictions or planning? *Environmental Science & Policy*, 75, 1–9.

- Sklenicka, P., Šímová, P., Hrdinová, K., Šálek, M. (2014): Changing rural landscapes along the border of Austria and the Czech Republic between 1952 and 2009: Roles of political, socioeconomic and environmental factors. *Applied Geography*, 47, 89–98.
- Sklenicka, P., Zouhar, J., Trpáková, I., Vlasák, J. (2017b): Trends in land ownership fragmentation during the last 230 years in Czechia, and a projection of future developments. *Land Use Policy*, 67, 640–651.
- Skokanová, H., Havlíček, M. (2010): Military topographic maps of the Czech Republic from the first half of the 20th Century. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 45, 1, 120–126.
- Skokanová, H., Havlíček, M., Borovec, R., Demek, J., Eremiášová, R., Chrudina, Z., Mackovčín, P., Rysková, R., Slavík, P., Stránská, T., Svoboda, J. (2012): Development of land use and main land use change processes in the period 1836–2006: case study in the Czech Republic. *Journal of Maps*, 8, 1, 88–96.
- Solar, J. (2013): Effect of climate change on mountain pine distribution in western Tatra Mountains. In: Singh, B. R., ed.: *Climate change-realities, impacts over ice cap, sea level and risks*. Chapter 18. DOI: 10.54772/54724.
- Stamp, L. D. (1948): *Land in Britain: Land in Britain: Its Use and Misuse*. Longmans Green and Co Ltd.
- Steinitz, C. (2014): The beginnings of geographical information systems: a personal historical perspective. *Planning Perspectives*, 29, 2, 239–254. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02665433.2013.860762>.
- Stoklasa, M. (1995): Informační systém zdravotního stavu lesů z kosmických snímků LANDSAT-TM. In: GIS ve státní správě, Sborník konference, Chrudim, 12–18.
- Storch, T., Honold, H.-P., Krawczyk, H., Alonso, K., Pato, M., Bachmann, M., Wachter, R., Mücke, M., Fischer, S. (2019): Radiometric Characterization, Calibration, and Correction for the Imaging Spectroscopy Mission EnMAP. *EARSel SIG IS 2019*, Brno.
- Suchá, R., Jakešová, L., Kupková, L., Červená, L. (2016): Classification of vegetation above the treeline in the Krkonoše Mts. National Park using remote sensing multispectral data. *AUC Geographica*, 51, 1, 113–129.
- Sun, Z. (2005): The Land-use Evolution and Impact Assessment Model: A Comprehensive Urban Planning Support System. In: URISA [online]. Dostupné z: http://www.urisa.org/publications/journal/articles/the_land_use_evolution (27. 2. 2012).
- Svatoňová, H., Kolejka, J. (2017): Comparative Research of Visual Interpretation of Aerial Images and Topographic Maps for Unskilled Users: Searching for Objects Important for Decision-Making in Crisis Situations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Basel: MDPI, 6, 8. DOI: 10.3390/ijgi6080231.
- Svobodová, K. (2011): *Krajina a krajinný ráz ve strategickém plánování*. Fakulta architektury ČVUT v Praze, Ústav prostorového plánování. Praha.
- Sýkora, L. (2008): The idiographic or nomothetic conceptions in geography: a pointless dispute about the nature and essence of understanding. *Geografický časopis*, 60, 3, 229–315.
- Sýkora, L., Ouředníček, M. (2007): Sprawling post-communist metropolis: Commercial and residential suburbanization in Prague and Brno, the Czech Republic. In: *Employment Deconcentration in European Metropolitan Areas*. DOI: 10.1007/978-1-4020-5762-5_8
- Šedina, J., Pavelka, K., Raeva, P. (2017): UAV remote sensing capability for precision agriculture, forestry and small natural reservation monitoring. In: Bannon, B. P., ed.: *Proceedings of the SPIE*. DOI: 10.1117/12.2267858.
- Šíma, J. (2011): Milníky geoinformatiky z pohledu odborné terminologie a technické normalizace. *Geobusiness*, 2.
- Šíma, M. (1995): Studium postupných změn lesního krytu Krkonoš pomocí dat Landsat MSS a TM 1979. In: *Sborník referátů IV. konference o dálkovém průzkumu*, Brno, 26–32.
- Šímová, P., Gdulová, K. (2012): Landscape indices behavior: A review of scale effects. *Applied Geography*, 34, 385–394.
- Šrámek, V., Balcar, V., Buriánek, V., Havránek, F., Jurásek, A., Liška, J., Novák, J., Slodičák, M. (2015a): Aktualizace studie Lesnické hospodaření v Krušných horách. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady. Dostupné z: http://www.vulhm.cz/sites/File/Informatika/studie_krusne_hory.pdf (9. 9. 2015).

- Šrámek, V., Balcar, V., Buriánek, V., Havránek, F., Jurásek, A., Liška, J., Novák, J., Slodičák, M. (2015b): Imisní zatížení Krušných hor. In: Aktualizace studie Lesnické hospodaření v Krušných horách. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady, 195.
- Štěpánek, V. (1992): The Iron curtain and its impact on the environment in the Czech Republic. *AUC Geographica*, 27, 1, 13–21.
- Štursa J., Wild, J. (2014): Kleč a smilka – klíčoví hráči vývoje alpského bezlesí Krkonoš (Vysoké Sudety, Česká republika). *Opera Corcontica*, 51, 5–36.
- Štych, P. (2007): Územní diferenciacie dlouhodobých změn využití krajiny Česka. Disertační práce. PŘF UK, Praha.
- Štych, P. (2010): Hodnocení dlouhodobých změn využití krajiny ve vybraných modelových územích středních Čech. *Bohemia centralis*, 30, 12, 121–138.
- Štych, P. (2017): Geograficko-geoinformační přístupy ve výzkumu změn využití krajiny. Habilitační práce. PŘF UK Praha
- Štych, P., Bičík, I., Chromý, P., Bláha, J. D. (2012a): Case Study Areas Košťálov, Klein Taxen: Change of Land Use Patterns 1823–2003. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Štych, P., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume VII*. Issued by International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change. Faculty of Science, Charles University, Prague. Hokkaido University of Education, Asahikawa. 13–18.
- Štych, P., Kupková, L., Sarti, F., Gutman, G. (2012b): Earth Observation Capacity Building Ctivities – The Czech Republic Case Study. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. IGARSS. 7357–7360. DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6351930.
- Štych, P., Míček, O., Kříž, J. (2015): Land use/cover changes in the Prague metropolis in years 1989, 1999 and 2006. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Kupková, L., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume XI*. Issued by International Geographical Union Commission on Land Use/Cover Change. Faculty of Science, Charles University, Prague. Hokkaido University of Education, Asahikawa. 49–58.
- Tasser, E., Tappeiner, U., Cernusca, A. (2005): Ecological Effects of Land-use Changes in the European Alps. In: Huber, U. M., Bugmann, H. K. M., Reasoner, M. A., eds.: *Global Change and Mountain Regions*. *Advances in Global Change Research*, 23. Springer, Dordrecht.
- Tepley, A., Thompson, J. R., Epstein, H. E., Anderson-Teixeira, K. J. (2017): Vulnerability to forest loss through altered postfire recovery dynamics in a warming climate in the Klamath Mountains. *Global Change Biology*. In press. DOI: 10.1111/gcb.13704.
- Terminologická komise ČÚZK (2019): Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. Terminologická komise Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, Český úřad zeměměřický a katastrální. Dostupné z: <https://www.vugtk.cz/slovník/index.php> (18. 1. 2019).
- Terres, J. M., Scacchiafichi, L. N., Wania, A., Ambar, M., Anguiano, E., Buckwell, A., Coppola, A., Gocht, A., Nordström Källström, H., Pointereau, P., Strijker, D., Visek, L., Vranken, L., Zobena, A. (2015): Farmland abandonment in Europe: identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk. *Land Use Policy*, 49, 20–34.
- Tewkesbury, P. A. (2015): A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. *Remote sensing of environment*, 160, 1–14.
- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G. (2011): *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*. CRC Press.
- Tomcová, J. (v přípravě): Laboratorní spektroskopie pro vybrané druhy vegetace z krkonošské tundry. Diplomová práce. PŘF UK, Praha.
- Tomlinson, R. (2007): *Thinking about GIS. Geographic Information System Planning for Managers*. Third Edition. Redlands, California: ESRI Press.
- Treml, V., Wild, J., Chuman, T., Potůčková, M. (2010): Assessing the change in cover of non-indigenous dwarf-pine using aerial photographs, a case study from the Hrubý Jeseník Mts., the Sudetes. *Journal of Landscape Ecology*, 3/2, 90–104.

- Trnka, M., Brázdil, R., Olesen, J. E., Zahradníček, P., Kocmánková, E., Dobrovolný, P., Štěpánek, P., Možný, M., Bartošová, L., Hlavinka, P., Semerádová, D., Eitzinger, J., Valášek, H., Havlíček, M., Horáková, V., Žalud, Z. (2012): Could the changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agricultural and Forest Meteorology*, 166, 62–71.
- Trnka, M., Brázdil, R., Vizina, A., Dobrovolný, P., Mikšovský, J., Štěpánek, P., Hlavinka, P., Řezníčková, L., Žalud, Z. (2017): Droughts and Drought Management in the Czech Republic in a Changing Climate. In: Wilhite, D. A., Pulwarty, R. S.: *Drought and Water Crises*. 2nd ed. Boca Raton. CRC Press, Taylor & Francis, 461–480.
- Trpáková, I. (2009): The use of historical sources and their ecological interpretation in the course of almost two centuries – a literature review. *Journal of Landscape Studies – online version*, 3, 2, 97–119.
- Trpáková, I., Trpák, P. (2009): Application of historical statistical data of the land use as the bases for the analysis of changes disturbed lands (The Sokolovsko model area). *Acta Pruhoniciana*, 91, 0, 55–63.
- Tsendbazar, N. E., De Bruin, S., Herold, M. (2015): Assessing global land cover reference datasets for different user communities. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 103, 93–114.
- Tuček, J. (1998): *Geografické informační systémy*, Computer Press, Praha.
- Turner II, B. L. (1989): The human causes of global environmental change. In: DeFries, R. S., Malone, T. F., eds.: *Global change and our common future: Papers from a forum*. Washington, DC: National Academy Press.
- Turner II, B. L., Lambin, E. F., Reenberg, A. (2007): The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 104, 52, 20666–20671.
- Turner II, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., Leemans, R. (1995): *Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan*. IGBP Report No. 35 / HDP Report No 7. Stockholm. Geneva.
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., Bascompte, J., Wardle, D. A. (2008): Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecol. Lett.*, 11, 1351–1363. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01250.x.
- Unwin, D. J. (1996): GIS, spatial analysis and spatial statistics. *Progr Human Geogr*, 20, 540–551.
- USGS (2019): *Global Land Cover*. The USGS Land Cover Institute, United States Geological Survey. Dostupné z: <https://archive.usgs.gov/archive/sites/landcover.usgs.gov/globallandcover.html> (18. 1. 2019).
- Vašát, R., Kodešová, R., Borůvka, L. (2017): Ensemble predictive model for more accurate soil organic carbon spectroscopic estimation. *Computers & Geosciences*, 2017, 104, 75–83.
- Verburg, P. H. et al. (2004): Land use change modelling: current practice and research priorities. *Geojournal*, 61, 4, 309–324.
- Verburg, P. H. et al. (2006): Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines. *Applied Geography*, 26, 153–173.
- Verburg, P. H., Berkel, D. B., Doorn, A. M., Eupen, M., Heiligenberg, H. A. R. M. (2009): Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures. *Landscape Ecology*, 25, 2, 217–232.
- Verburg, P. H., Dearing, J., Dyke, J. et al. (2016): Methods and approaches to modelling the Anthropocene. *Global Environmental Change*, 39, 328–340.
- Vliet, J. van et al. (2016): A review of current calibration and validation practices in land-change modeling. *Environmental Modelling & Software*, 82, 174–182.
- Vliet, J. van, Groot, H. L. F. de, Rietveld, P., Verburg, P. H. (2015): Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landsc Urban Plan*, 133, 24–36.
- Voženílek, V. (2000): *Geografické informační systémy I*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Wang, Z., Skidmore, A.K., Darvishzadeh, R., Wang, T. (2018): Mapping forest canopy nitrogen content by inversion of coupled leaf-canopy radiative transfer models from airborne hyperspectral imagery. *Agric. For. Meteorol.* 253–254, 247–260.
- WCED (1987): *Our Common Future*. The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. Oxford – New York. 287 s.
- Wu, S. T., Sader, S. A. (1987): Multipolarization SAR data for surface feature delineation and forest vegetation characterisation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-25, 67–75.

- Xin, Q. C., Olofsson, P., Zhu, Z., Tan, B., Woodcock, C. E. (2013): Toward near Real-time monitoring of Forest disturbance by fusion of MODIS and landsat data. *Remote Sens. Environ.*, 135, 234–247.
- Xue, J., Su, B. (2017): Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>.
- Yanez-Rausell, L., Schaepman, M. E., Clevers, J. G. P. W., Malenovsky, Z. (2014): Minimizing Measurement Uncertainties of Coniferous Needle-Leaf Optical Properties, Part I: Methodological Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, 2, 399–405.
- Zagajewski, B. (2010): Assessment of neural networks and Imaging Spectroscopy for vegetation classification of the High Tatras. *Teledetekcja Srodowiska*, 43, 1–113.
- Zagajewski, B., Tømmervik, H., Bjerke, J. W., Raczko, E., Bochenek, Z., Kłos, A., Jarocinska, A., Lavender, S., Ziólkowski, D. (2017): Intraspecific Differences in Spectral Reflectance Curves as Indicators of Reduced Vitality in High-Arctic Plants. *Remote Sens.*, 9, 1289.
- Zákon 114/92 Sb. Zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny ze dne 19. února 1992.
- Zeidler, M., Banaš, M. (2013): Vybrané kapitoly z ekologie horských ekosystémů. Olomouc: Univerzita Palackého.
- Zemek, F. et al. (2014): Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů. Brno: Centrum výzkumu globální změny AVČR.
- Zhang, C., Kovacs, J. M. (2012): The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture* 13, 694–712.
- Zhang, F., Pan, Z. Y., Dong, H., He, F. J., Hu, X. B. (2015): Remote estimation of leaf water content using spectral index derived from hyperspectral data. *Conference Paper. Int. Conf. Inf. Sci. Electron. Technol.*, 3, 20–23.
- Zhang, Q. et al. (2011): Simulation and analysis of urban growth scenarios for the Greater Shanghai Area, China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35, 126–139.
- Zhou, L., Yang, X. (2008): Use of Neural Networks for Land Cover Classification from Remotely Sensed Imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 575–578.
- Zhu, X. (2016): GIS for Environmental Applications A practical approach. Abingdon Taylor and Francis.
- Zhu, Z. (2017): Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *Isprs J. Photogramm. Remote Sens.*, 130, 370–384.
- Zimmermann, J., González, A., Jones, M. B., O'Brien, P., Stout, J. C., Green, S. (2016): Assessing land-use history for reporting on cropland dynamics – A comparison between the Land-Parcel Identification System and traditional inter-annual approaches. *Land Use Policy*, 52, 30–40.
- Zvára, K. (2004): Biostatistika. Karolinum, Praha.
- Zvára, K. (2008): Regrese. Matfyzpress, Praha.
- Žigrai, F. (1977): Základné kategórie využitia zeme a ich priestorové usporiadanie. SČSZ, Praha.

Soubor studií

- Bičík, I., Kupková, L. (2002): Long term and transformational land use changes in Czechia. In: Himiyama, Y. et al., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World – Volume II*. International Geographical Union Commission on Land Use and Land Cover Change. Hokkaido University of Education, Asahikawa. 13–25.
- Kupková, L., Bičík, I. (2016): Landscape transition after the collapse of communism in Czechia, *Journal of Maps*, 12, 526–531.
- Kupková, L., Bičík, I., Najman, J. (2013): Land Cover Changes Along the Iron Curtain 1990–2006. *Geografie*, 118, 2, 95–115.
- Kupková, L., Ouředníček, M. (2013): Hodnocení intenzity, prostorového rozložení a dopadů suburbanizace v zázemí Prahy s využitím dat DPZ. In: Ouředníček, M., Špačková, P., Novák, J., eds.: *Sub Urbs: krajina, sídla a lidé*. Academia, Praha. 119–149.
- Indrová, M., Kupková, L. (2015): Změny využití krajiny v suburbánní zóně Prahy v různých přístupech predikčního modelování. *Geografie*, 120, 3, 426–447.
- Feranec, J., Solin, L., Kopecká, M., Ofahel, J., Kupková, L., Štych, P., Bičík, I., Kolář, J., Čerba, O., Soukup, T., Brodský, L. (2014): Analysis and expert assessment of the semantic similarity between land cover classes. *Progress in Physical Geography*, 38, 3, 301–327.
- Manakos, I., Tomaszewska, M., Gkinis, I., Brovkina, O., Filchev, L., Genc, L., Gitas, I. Z., Halabuk, A., Inalpulat, M., Irimescu, A., Jelev, G., Karantzalos, K., Katagis, T., Kupková, L., Lavreniuk, M., Mesaroš, M., Mihailescu, D., Nita, M., Rusnak, T., Stych, P., Zemek, F., Albrechtová, J., Campbell, P. (2018): Comparison of Global and Continental Land Cover Products for Selected Study Areas in South Central and Eastern European Region. *Remote Sensing*, 10, 12, 1967.
- Suchá, R., Jakešová, L., Kupková, L., Červená, L. (2016): Classification of vegetation above the treeline in the Krkonoše Mts. National Park using remote sensing multispectral data. *AUC Geographica*, 51, 1, 113–129.
- Kupková, L., Červená, L., Suchá, R., Zagajewski, B., Březina, S., Albrechtová, J. (2017): Classification of Tundra Vegetation in the Krkonoše Mts. National Park Using APEX, AISA Dual and Sentinel-2A Data. *European Journal of Remote Sensing*. 50, 1, 29–46.
- Kupková, L., Potůčková, M., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2018): Forest cover and disturbance changes, and their driving forces: A case study in the Ore Mountains, Czechia, heavily affected by anthropogenic acidic pollution in the second half of the 20th century. *Environmental Research Letters*, 13, 9.
- Lhotáková, Z., Brodský, L., Kupková, L., Kopačková, V., Potůčková, M., Mišurec, J., Klement, A., Kovářová, M., Albrechtová, J. (2013): Detection of multiple stresses in Scots pine growing at post-mining sites using visible to near-infrared spectroscopy. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 15, 2004–2015. DOI: 10.1039/C3EM00388D.
- Potůčková, M., Červená, L., Kupková, L., Lhotáková, Z., Albrechtová, J. (2016): Statistical comparison of spectral and biochemical measurements on an example of Norway spruce stands in the Ore Mountains, Czech Republic. *Geoinformatics FCE CTU*, 15, 69–83.
- Potůčková, M., Červená, L., Kupková, L., Lhotáková, Z., Lukeš, P., Hanuš, J., Novotný, J., Albrechtová, J. (2016): Comparison of Reflectance Measurements Acquired with a Contact Probe and an Integration Sphere: Implications for the Spectral Properties of Vegetation at a Leaf Level. *Sensors*, 16, 1801.