

VYHODNOCENÍ LESNICKÉHO TYPOLOGICKÉHO KLASIFIKAČNÍHO SYSTÉMU NA DATECH NÁRODNÍ INVENTARIZACE LESŮ

EVALUATION OF THE CZECH FOREST ECOSYSTEM CLASSIFICATION OVER THE DATASET OF THE NATIONAL FOREST INVENTORY

Ing. Robert Hruban¹, Ing. Antonín Kusbach, PhD.²

¹ *Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem
Pobočka Kroměříž, Náměstí Míru 498, 767 01 Kroměříž.
E-mail: Hruban.Robert@uhul.cz*

² *Ústav lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie
Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně
Zemědělská 3, 61300 Brno (Černá Pole)
E-mail: akusbach@seznam.cz*

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the Czech Forest Ecosystem Classification (CFEC) - especially its superstructural units - over the dataset of the National Forest Inventory (objective design). The study will assess the validity of relevant ecological concepts (e.g. the zonal concept, the concept of vegetation zonation), superstructural units - Natural Forest Areas and Forest Vegetation Zones (NFA, FVZ) and two approaches of a sampling design - objective and subjective design of the selection of sample plots. Analogs to NFA and FVZ will be proposed. A territory of the Czech Republic is a study area.

A wide variety of advanced mathematical and statistical methods, especially ordination or classification methods will be used in the study. Principal Component Analysis (PCA), Correspondence Analysis (CA), Redundancy Analysis (RDA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA) will be used in the assessment of the zonal concept and finding of ecological gradients. MARS and Regression Trees (CART) method will be used for determination of threshold values. A data-mining discrimination method - Random Forest will be used for the analysis of superstructure units (NFA and FVZ). New superstructure units will be proposed using a cluster analysis (CA). The already mentioned ordination and classification methods will be used for comparison of the sample designs.

A comprehensive and innovative mathematical and statistical evaluation of the current CFEC and a proposal of new superstructural units are assumed a progressive benefit of this dissertation as the system has never been tested this way before.

Keywords: Forest ecology, forest ecosystem classification, zonal sites, zonal concept, multidimensional analysis, topographic (morpho-)indexes, classification, ordination, cluster analysis.

Úvod

Klasifikační systémy lesů a obecně také krajiny, založené na konceptech potenciální přirozené vegetace a zonality (zonální koncept), existují více než 50 let. Byly vyvinuty jak v Evropě (CAJANDER, 1926; ZLATNÍK, 1956; SCHLENKER, 1964; PLÍVA, 1971), tak i v Severní Americe (DAUBENMIRE, 1943; DAMMAN, 1979; PFISTER A ARNO, 1980; POJAR A KOL. 1987).

V České republice je jedním z nástrojů klasifikace lesních společenstev a jejich stanovišť *Lesnicko-typologický klasifikační systém* (LTKS) Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL), dříve známý a publikovaný jako "Typologický systém ÚHÚL" (PLÍVA, 1971), využívající konceptu vegetačních (lesních) stupňů (ZLATNÍK, 1956).

LTKS je v současné době na základě legislativy (lesní zákon, vyhláška č. 83/1996 Sb.) podkladem pro diferencované plánování a hospodaření v lesích. Mimo lesnictví je dále používán i v jiných oborech jako je např. ochrana přírody (plány péče zvláště chráněných území), životní prostředí, krajinné plánování (tvorba ÚSES), územně analytické podklady, oceňování lesních pozemků atd. (MIKESKA, 2012).

Přestože byl LTKS publikován jako celek (PLÍVA, 1971; VIEWEGH et al., 2003) nebo jako součást odborných publikací (RANDUŠKA et al., 1986; PRŮŠA, 2001; VIEWEGH, 2003), nebyl od doby svého vzniku až do nedávné minulosti veřejně metodicky zpracován, publikován a komplexně vědecky posouzen (KUSBACH, 2012; ZOUHAR, 2013). V poslední době se ovšem objevují první studie, které se snaží objektivně zhodnotit dílčí prvky LTKS, mezi něž je možné zařadit výstupy Centra pro výzkum toxických látek v prostředí – RECETOX (KOMPRDOVÁ, ZOUHAR, 2012) nebo pracoviště Ústavu lesnické botaniky, dendrologie a geobiocenologie na Mendelově univerzitě v Brně (KUSBACH et al., 2017).

S rozvojem nových technologií na poli geoinformačních systémů a dálkového průzkumu země i dostupných technologií pro jejich počítačové zpracování a vyhodnocení se nabízejí možnosti nových přístupů (nebo analogií) k současné praxi tvorby (mapování) dílčích jednotek LTKS. S nejasnou vizí nastupující klimatické změny je vhodné hledat modelové metody, které nám umožní (pokud to bude potřeba) při tvorbě lesnicko-typologické mapy dynamicky reagovat na změny klimatických činitelů podmiňujících výskyt samotných lesních společenstev.

Předkládaný příspěvek pojednává o metodice disertační práce zpracovávané prvním autorem příspěvku. Hlavním cílem práce je zhodnocení Lesnicko-typologického klasifikačního systému (LTKS).

MATERIÁL A METODIKA

Cílem dizertační studijní práce (DSP) je zhodnocení Lesnicko-typologického klasifikačního systému LTKS – zejména jeho nadstavbových jednotek – přírodních lesních oblastí (PLO) a lesních vegetačních stupňů (LVS) nad daty Národní inventarizace lesů (NIL, objektivní design) pomocí moderních matematicko-statistických metod. Součástí práce je posouzení platnosti relevantních ekologických konceptů (např. koncept zonality, koncept LVS), testování nadstavbových jednotek LTKS a zhodnocení přístupů k výběrovému designu – objektivnímu a subjektivnímu výběru ploch. Šetřeným územím je ČR.

V rámci zpracování DSP budou řešeny následující části:

1. zhodnocení zonálního konceptu,
2. zhodnocení konceptu PLO,
3. zhodnocení konceptu LVS,
4. zhodnocení subjektivního a objektivního výběrového designu.

Metodická část DSP bude provedena nad dvěma základními datovými soubory. Zhodnocení objektivního výběrového designu bude provedeno nad daty NIL II, zhodnocení subjektivního výběrového designu bude provedeno nad daty databáze lesnické typologie (DLT). Oba datové soubory jsou z hlediska obsahu environmentálních dat téměř shodné a tudíž porovnatelné. Při zpracování dat budou u obou datasetů provedeny kontrola, doplnění nebo odstranění nevyhovujících dat.

Matematicko-statistické zpracování ekologických údajů vyžaduje úplnou datovou matici bez chybějících dat. Nutností je proto doplnění chybějících dat nebo nahrazení neúplných. Některé modely vyžadují mnohorozměrné normální rozložení dat, tento přístup se řeší pomocí transformace dat. U některých veličin mají proměnné různé jednotky, často se řádově liší, a tak je vhodné převést proměnné na stejné měřítko. K tomu slouží standardizace dat. Ta se provádí například standardizací rozpětím, směrodatnou odchylkou (Z-skóre), na maximum řádku nebo sloupce, případně dalšími metodami (JARKOVSKÝ, 2012)

Data o environmentálním prostředí budou dále doplněny údaji o výškopisu z dostupného digitálního modelu terénu (DMT) a na něj navazujících charakteristik. Kromě klasických topo-fyziografických proměnných (expozice, sklon svahu, kategorie reliéfu) budou využity pokročilé topografické morfologické, vlhkostní či teplotní indexy (např. *Parker Heat Index*, *Aspect Value*, *Topografic Exposure Index*, *Terrain Wetness*, *Topographic Exposure*, *Topography Convergence*, *SAGA Wetness Index*, *Topographic Wetness Index*, *Terrain Ruggedness Index* a další (MIKITA & KLIMÁNEK, 2010; KUSBACH et al., 2017).

Klimatická data od ČHMÚ (průměrné srážky, průměrná teplota, vláhová bilance) za období 1960–2010 jsou k dispozici ve formě rastru. Pro ekologické modelování je možné využít i volně dostupný datový set *WorldClim – Global Climate Data*, který obsahuje v rozlišení cca 1 km data o měsíčních průměrných, minimálních a maximálních teplotách, srážkách, nadmořské výšce a bioklimatických údajích pro současné podmínky (reprezentované obdobím 1950–2000) i pro budoucí podmínky (reprezentované globálním klimatickým modelem z CMIP 5).

ZHODNOCENÍ ZONÁLNÍHO KONCEPTU

V prvním kroku DSP bude provedeno zhodnocení a návrh definice zonálních stanovišť. Analytické zhodnocení zonálního konceptu bude řešeno pomocí ordinačních a klasifikačních metod. Pomocí metody *PCA*, případně *CA* budou zjištěny významné environmentální gradienty a jejich korelační struktura. Metoda *RDA*, popřípadě *CCA* a její detrendovaná verze (*DCA*) budou použity k nalezení gradientů, které významně ovlivňují distribuci klimaxových lesních dřevin (LEGENDRE, 1998). Významné environmentální gradienty nebo jejich kombinace (hlavní komponenty z ordinačních metod) budou použity pro výpočet prahových hodnot environmentálních faktorů. Ty jsou stanoveny pro environmentální faktory a rostlinné druhy (dřeviny) na základě experimentálních a teoretických variogramů, které slouží ke zjištění prostorové vzdálenosti, kde dochází k největší změně ve variabilitě těchto proměnných, a vzdálenosti, kde jsou vegetace i environmentální podmínky relativně homogenní (HENGL, 2007). Prahové hodnoty významných environmentálních gradientů je možné zjistit také pomocí metody rozhodovacích (regresních) stromů typu *CART*, kde jsou určeny diskriminační pravidla na základě kritériální statistiky (BREIMAN, 1984, 2001).

Výsledky z výše uvedených analýz budou srovnány a vyhodnoceny na základě dosažené přesnosti jednotlivých modelů (HASTIE, 2005) a expertní zkušenosti z práce v terénu. Důraz bude kladen na aplikační použití, tj. na výběr prahových hodnot environmentálních faktorů snadno měřitelných v terénu. Analyticky zjištěná abiotická omezení (prahové hodnoty) umožní vybrat síť zonálních stanovišť na území ČR. V této síti budou v dalším kroku analyzovány LVS.

ZHODNOCENÍ KONCEPTU PLO

Ve druhém kroku DSP budou posouzeny vyšší „horizontální“ lesnické typologické jednotky (PLO) a bude provedena diskriminace (návrh) nových formalizovaných jednotek. Analytické zhodnocení konceptu PLO a VLS bude řešeno pomocí metody *Random Forest* (RF), případně metodou *CART*. Ke zpracování bude použito prostředí *R*, pravděpodobně balíček *Package ‘randomForest’*.

V rámci zpracování DSP budou provedeny testy všech případných (dostupných) horizontálních členění území ČR. Budou otestovány všechny úrovně PLO [provincie-obvod-oblast-podoblast] (PLÍVA, 1986), úrovně geomorfologického členění ČR [provincie-subprovincie-oblast-celek] (DEMEK, 1987), úrovně geologického členění (CHLUPÁČ, 2011) fyto geografické členění dle Dostála (DOSTÁL, 1957, 1966) a Skalického (SKALICKÝ, 1988), klimatické oblasti dle Quitta (QUITT, 1975, 2000) a biogeografické členění ČR (CULEK, 1996). Jako vhodná alternativa se nabízí také Divíškova klasifikace krajiny České republiky na

základě rozšíření přírodních biotopů (DIVÍŠEK, 2014). Z těchto regionálních členění bude na základě metod vícerozměrné analýzy vybráno to nejlepší řešení horizontálního členění pro potřeby úpravy LTKS.

Pomocí metody *RF* bude vypočítána významnost půdních i vegetačních proměnných, které jsou důležité pro diskriminaci lesnických typologických jednotek a zároveň jsou snadno určitelné v terénu. Výsledné, relativně homogenní, horizontální jednotky (upravené PLO) budou použity v další fázi pro konstrukci formalizovaných LVS jako „vertikálního“ členění uvnitř vybrané horizontální jednotky.

ZHODNOCENÍ KONCEPTU LVS

Ve třetím kroku DSP budou posouzeny vyšší „vertikální“ lesnické typologické jednotky (LVS) a bude případně provedena diskriminace nových alternativních jednotek. K testování současných LVS a diskriminaci alternativních LVS bude použita opět metoda *RF*. Pro analýzu budou vybrány plochy s tzv. přirozenými porosty (stupně přirozenosti 4–6) podle metody Macků (MACKŮ et al., 2013).

Alternativy LVS budou navrženy pomocí metody *Cluster Analysis* (CA) s použitím prahových hodnot pro výběr zonálního stanoviště. Zonální společenstva budou reprezentována vybranými dominantními klimaxovými dřevinami v úrovni a nadúrovni a možnou dominantou/diagnostickým druhem v podrostu jako indikátory výškové zonace (ZLATNÍK, 1956; POJAR, 1987). Alternativy LVS budou srovnány se stávajícími a budou také zpětně ověřeny pomocí *RF*. Bude zjištěno možné sloučení lesnických typologických jednotek na základě výsledků metody *RF* a *CA*. Vytvořené alternativy LVS, reprezentované shluky relevantních zonálních stanovišť, budou vizualizovány a sdruženy s významnými environmentálními gradienty v ordinačním prostoru metodou *PCA*. Dílčím výstupem bude mapa upravených PLO (pro celou republiku) a mapa formalizovaných LVS (pro vybrané oblasti).

ZHODNOCENÍ SUBJEKTIVNÍHO A OBJEKTIVNÍHO VÝBĚROVÉHO DESIGNU

Ve čtvrtém kroku DSP bude provedeno zhodnocení subjektivního a objektivního výběrového designu lesnicko-typologických ploch. Princip analytického zhodnocení výběrového designu bude spočívat v paralelním použití a statistickém zhodnocení dvou podobných datasetů. Jeden dataset bude připraven z podkladů NIL II a druhý dataset z podkladů DLT. Oba datasety budou obsahovat vhodný počet srovnatelných záznamů. Dataset NIL II bude obsahovat všechny regulérní záznamy, které má k dispozici. Dataset DLT bude připraven pomocí stratifikovaného výběru, který může mít podobné parametry jako dataset NIL II.

Všechny výše uvedené analýzy se budou paralelně provádět na obou datasetech. Bude tedy v obou případech proveden návrh zonálních stanovišť a stejně tak diskriminace vyšších nadstavbových jednotek. V průběhu jednotlivých kroků bude sledována statistická „úspěšnost“ obou datasetů, jak si dokáží poradit s jednotlivými dílčími kroky.

Další možností je srovnání obou datasetů k analýze překryvu současně vymezených (platných) lesnických typologických jednotek LVS a edafických kategorií (EK). Problematice se již věnovala Komprdová (ZOUHAR, KOMPRDOVÁ, 2012), která ovšem hodnotila pouze dataset DLT. Metodicky využila klasifikační techniku *RF*, cílem analýzy bylo zjištění procenta správné klasifikace lesnických typologických jednotek. Obdobného přístupu je možné využít na obou datasetech s konečným srovnáním úspěšnosti správné klasifikace mezi datasety. V dílčích výsledcích analýzy budou zhodnoceny výhody a nevýhody obou přístupů – metod vedoucích k zajištění analyticky relevantních podkladů.

ZÁVĚR

Cílem lesnické ekologie je beze sporu hledání určité zákonitosti (modelu), která by umožňovala vlastníkům lesů a dalším odpovědným manažerům adekvátně reagovat na změny prostředí (klimatická změna). Tyto změny mohou být způsobeny vnitřními procesy Země, ale také působením lidstva. Dle různých zdrojů se předpokládá, že klimatické změny mohou v budoucnu přicházet s vysokou dynamikou – v příštích 100 letech se předpokládá průměrné globální oteplení až o několik °C (IPCC 5, PRETEL, 2011). S výraznými klimatickými změnami je možné očekávat rovněž změny (posuny, změna složení, změna struktury) na úrovni lesních společenstev.

Pokud dojde k výrazné klimatické změně, která podmíní změnu na úrovni lesních ekosystémů, bude velmi vhodné mít k dispozici nástroj (model), který dokáže tyto změny adekvátně předjímat a navrhnout vhodná řešení. Dílčí výstupy DSP mohou sloužit jako další kamínky v mozaice poznání složitých ekosystémových vazeb lesních ekosystémů a jako jeden z kroků vedoucích k vytvoření takového nástroje.

LITERATURA

- BREIMAN, L., FRIEDMAN, J., STONE, J. CH., OLSHEN, R. A. (1984): Classification and regression trees. CRC press.
- BREIMAN, L. (2001): Random forests. Machine learning, 45(1):5-32.
- CAJANDER, A. K. (1926): The theory of forest types. Acta For. Fenn, 29, 1913–1929.
- CULEK, M. et al. (1996): Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha.
- DAMMAN, A.W.H. (1979): The role of vegetation analysis in land classification. For. Chron. 55, 175–182.
- DAUBENMIRE, R. (1987): The roots of a concept (keynote). In Proceedings, Land Classifications Based on Vegetation: Applications for Resource Management, Moscow, ID, November 17–19.
- DIVÍŠEK, J., CHYTRÝ, M., GRULICH, V., POLÁKOVÁ, L. et al. (2014): Landscape classification of the czech republic based on the distribution of natural habitats. Preslia, 86:209–231.
- DOSTÁL, J. (1966): Fytogeografické členění, mapa 1: 2 000 000. Atlas ČSSR. Praha: Academia.
- HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., FRIEDMAN, J., FRANKLIN, J. (2005): The elements of statistical learning: data mining, inference and prediction. The Mathematical Intelligencer, 27(2): 83-85.
- HENGL, T. (2007): A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables, volume 140.
- CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z. et al. (2011): Geologická minulost České republiky, Vydání 2, opravené. Academia, Praha.
- IPCC, CLIMATE CHANGE (2014): Synthesis Report, dostupné online [3. 1. 2018], <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- JARKOVSKÝ, J. et al. (2012): Statistické hodnocení biodiverzity, IBA, Masarykova univerzita.
- KOMPRDOVÁ, K., ZOUHAR, V. (2012): Klasifikace lesnické typologie na základě druhového složení. In: Holušová K. (ed): Sborník z konference "Rozvoj Lesnické typologie a její využití v lesnické praxi". 11.-13. Zář 2012, 208 s.
- KUSBACH, A. (2012): Klasifikace lesů na dvou kontinentech: jak dál v lesnické typologii?. In: Holušová K. (ed): Sborník z konference "Rozvoj Lesnické typologie a její využití v lesnické praxi". 11.-13. Zář 2012. 208 s.

- KUSBACH, A., FRIEDL, M., ZOUHAR, V., MIKITA, T., ŠEBESTA, J. (2017): Assessing Forest Classification in a Landscape-Level Framework: An Example from Central European Forests, *Forests* 2017, dostupné online [3. 1. 2018], (<http://www.mdpi.com/1999-4907/8/12>).
- LEGENDRE, P & GALLAGHER, E. (1998): Numerical ecology. Elsevier, New York.
- MACKŮ, J. et al. (2013): Methodology for establishing the degree of naturalness of forest stands. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 60(5): 161–166.
- MIKESKA, M. (2012): Praxe lesnicko-typologického mapování ÚHÚL od počátků po současnost. In: Holušová K. (ed): *Sborník z konference "Rozvoj Lesnické typologie a její využití v lesnické praxi"*. 11.-13. Září 2012, 208 s.
- MIKITA, T., KLIMÁNEK, M. (2010): Topographic exposure and its practical applications.
- PFISTER, R.D., ARNO, S.F. (1980): Classifying forest habitat types based on potential climax vegetation. *For. Sci.* 26, 52–70.
- PLÍVA, K. (1971): Typologický systém ÚHÚL. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem.
- PLÍVA, K., ŽLÁBEK, I. (1986): Přírodní lesní oblasti ČSR. Státní zemědělské nakladatelství. Praha.
- POJAR, J., KLINKA, K. & MEIDINGER, D.V. (1987): Biogeoclimatic ecosystem classification in british columbia. *Forest Ecology and Management*, 22(1):119–154.
- PRETEL, J. et al. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (Technické shrnutí výsledků řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 v letech 2007–2011).
- PRŮŠA, E. (2001): Pěstování lesů na typologických základech, *Lesnická práce*, s.r.o., 593 s.
- QUITT, E. (1975): Klimatické oblasti. Brno, Geologický ústav ČSAV.
- SCHLENKER, G. (1964): Entwicklung des in Südwestdeutschland angewandten Verfahrens der forstlichen Standortkunde. In *Standort, Wald und Waldwirtschaft in Oberschwaben: Ergebnisse einer Gemeinschaftsarbeit in Einzeldarstellungen; Arbeitsgemeinschaft Oberschwäbische Fichtenreviere*: Stuttgart, Germany, pp. 5–26.
- RANDUŠKA, D., VOREL, J., PLÍVA, K. (1986): Fytocenológia a lesnícka typológia. *Príroda*. 339 s.
- VESECKÝ et al. & RED et al. (1958): Atlas podnebí československé republiky. *Klimaatlas ČSR*. Praha.
- VIEWEGH, J. (2003): Klasifikace lesních rostlinných společenstev (se zaměřením na typologický systém ÚHÚL). Česká zemědělská univerzita.
- ZOUHAR, V. (2013): Stav lesnicko-typologického klasifikačního systému a možnosti jeho vývoje. In: *Friedl Michal (ed). Geobiocenologie a její aplikace v lesnictví a krajinářství. Geobiocenologické spisy, svazek č. 15*, Sborník příspěvků z konference konané 6. – 7. 12. 2012 v Brně, 226 s.
- ZLATNÍK, A. (1956): Nástin lesnické typologie na biogeocenologickém základě a rozlišení československých lesů podle skupin lesních typů. In: *Pěstování lesů*, 3:317–401.
- ZLATNÍK, A. (1975): Ekologie krajiny a geobiocenologie. VŠZ Brno. 172 s.