

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Dlouhodobá změna vegetace acidofilních smíšených lesů v oblasti
Křivoklátska**

**Long-term vegetation change of acidophilous mixed forests in the
Křivoklátsko region**

Diplomová práce

Autor: Vojtěch Kovačka

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vojtěch Kovačka

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Dlouhodobá změna vegetace acidofilních smíšených lesů v oblasti Křivoklátska

Název anglicky

Long-term vegetation change of acidophilous mixed forests in the Křivoklátsko region

Cíle práce

V osmdesátých letech dvacátého století probíhal intenzivní fytoocenologický výzkum v chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko, který byl zaměřen na všechny vegetační typy. Obzvláště zevrubně zde byly studovány lesní porosty. Pořízená kolekce fytoocenologických snímků tak skýtá velmi cenný materiál pro studium změny vegetace (změny ve druhové skladbě a v abundancích jednotlivých druhů) v dlouhodobém horizontu. Diplomová práce se zaměří na pořízení vegetačních záznamů v lokalitách historických záznamů, které zahrnují porosty jedlin, jedlových doubrav a acidofilních borů a porovná obě sady dat s ohledem na případnou změnu druhového složení, změnu diverzity, posun v průměrných indikačních hodnotách (dle Ellenberga) a posun průměrných spekter několika významných funkčních vlastností rostlin.

Metodika

Během vegetační sezóny bude provedeno fytoocenologické snímkování ca 70 porostů na místech historických vegetačních záznamů v hranicích CHKO Křivoklátsko. Snímkování bude provedeno stejnou metodikou, tj. dle zásad Curyšsko-Montpelliérské školy. Snímková data budou následně převedena do digitální databáze v programu TURBOVEG. V analytickém programu JUICE bude snímkový materiál dále hodnocen – spočteny budou hodnoty druhové diverzity jednotlivých pater (druhová bohatost, index diverzity dle Simpsona, index vyrovnanosti dle Smithe a Wilsona), dále budou vypočteny průměrné hodnoty Ellenbergových indikačních čísel (pro teplotu, kontinentalitu, světlo, vlhkost, množství živin a půdní reakci) a budou zde též spočítány vážené průměry vybraných funkčních vlastností zastoupených rostlin: myrmekochorie, strategie šíření, fáze kvetení, způsob generativního rozmnožování, symbiotická fixace dusíku, šířka ekologické amplitudy druhu (měřená pomocí počtu biotopů s výskytem taxonu v ČR). Tyto funkční vlastnosti budou pro jednotlivé taxony převzaty z databáze PLADIAS. Všechna data budou vyhodnocena pomocí mnohorozměrných statistických metod v programu Canoco 5.

Doporučený rozsah práce

40-80 normostran (bez příloh)

Klíčová slova

Jedliny, jedlové doubravy, acidofilní bory, lesní vegetace, vegetační změna, ekologická indikace, funkční vlastnosti, změna environmentálních podmínek

Doporučené zdroje informací

- Keith S.A., Newton A.C., Morecroft M.D., Bealey C.E. & Bullock J.M. (2009): Taxonomic homogenization of woodland plant communities over 70 years. – *Proceedings of the Royal Society B*, 276: 3539–3544.
- Kolbek J. a kol. (2003): Vegetace Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Křivoklátsko. 3. Společenstva lesů, křovin, prameništ, balvaništ a acidofilních lemů. – Academia, Praha, 380 p.
- Kozáková R., Šamonil P., Kuneš P., Novák J., Kočár P. & Kočárová R. (2011): Contrasting local and regional Holocene histories of *Abies alba* in the Czech Republic in relation to human impact: Evidence from forestry, pollen and anthracological data. – *The Holocene* 21: 431–444.
- Lenoir J., Gégout J.C., Dupouey J.L., Bert D. & Svenning J.-C. (2010): Forest plant community changes during 1989–2007 in response to climate warming in the Jura Mountains (France and Switzerland). – *Journal of Vegetation Science* 21: 949–964.
- Ložek V., Kubíková J., Špryňar P. a kol. (2005): Střední Čechy. – In: Mackovčín P. & Sedláček M. (eds), Chráněná území ČR, svazek XIII, AOPK ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 904 p.
- Pickett S.T.A. & Cadenasso M.L. (2005): Vegetation dynamics. – In: van der Maarel E. (ed.), *Vegetation Ecology*, pp. 172–198, Blackwell Science, Malden.
- Thimonier A., Dupouey J.L., Bost F. & Becker M. (1994): Simultaneous eutrophication and acidification of a forest ecosystem in North-East France. – *New Phytologist* 126: 533–539.
- Thomas P.A. & Packham J.R. (2007): *Ecology of woodlands and forests*. – Cambridge University Press, Cambridge, 528 p.
- Verheyen K., Baeten L. et al. (2012): Driving factors behind the eutrophication signal in understory plant communities of deciduous temperate forests. – *Journal of Ecology* 100: 352–365.
- Vladovič J., Merganič J. et al. (2014): Reakcia diverzity lesných fytocenóz na zmenu edaficko-klimatických podmienok Slovenska. – TU Zvolen, 165 p.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 10. 6. 2019

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Dlouhodobá změna vegetace acidofilních smíšených lesů v oblasti Křivoklátska vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Tomáše Černého, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Malměřicích dne 10. 6. 2020

Vojtěch Kovačka

Poděkování

Děkuji Mgr. Tomáši Černému, Ph.D. za cenné rady a pomoc při psaní práce.
Dále děkuji své manželce Anetě za pomoc při sběru dat a podporu během studia.

Abstrakt

Práce se zaměřuje na opětovné fytoocenologické snímkování ploch na území CHKO Křivoklátsko. Původní výzkum byl proveden v rozpětí let 1976–2003 pod záštitou Akademie věd České republiky a probíhal pod vedením RNDr. Jiřího Kolbeka, CSc. Jednalo se o rozsáhlý výzkum území CHKO a Biosférické rezervace Křivoklátsko, jehož výsledkem bylo vydání ucelených monografií věnovaných mapě potenciální vegetace, flóry, geobotanickému mapování a přehledu vegetačních jednotek oblasti. Díky tomu se Křivoklátsko stalo jedním z fytoocenologicky nejvíce prozkoumaných území v České republice. Záměrem diplomové práce bylo posoudit případné změny (sub)acidofilní vegetace zdejších lesů v souvislosti s eutrofizací krajiny, změnou klimatu nebo lesnickým hospodařením. Při sběru dat v terénu byl kladen důraz na co nejpřesnější lokalizaci původních snímků. Vlastní sběr dat probíhal podle zásad Curyšsko–Monpelliérské školy ve shodě s metodickými postupy v minulosti. Data byla posléze digitalizována v programu Turboveg a statisticky vyhodnocena pomocí mnohorozměrných analýz.

Výsledky ukázaly snížení druhové bohatosti, především v bylinném patře. Nápadný je i úbytek jedle bělokoré (*Abies alba*), dříve jedné z hlavních hospodářských dřevin Křivoklátska. Z pohledu Ellenbergových indikačních hodnot a zkoumaných funkčních vlastností zastoupených rostlin práce neprokázala žádné signifikantní změny vegetace s výjimkou zastoupení myrmekochorie, kde byl zjištěn úbytek potenciálně myrmekochorních taxonů. Prokazatelný rozdíl nenastal ani v šířce ekologické amplitudy pozorovaných druhů rostlin. Lze tedy vyvodit závěr, že na Křivoklátsku nedošlo k výrazným změnám vegetace, i když předpokládáme pravděpodobný posun faktorů prostředí, jako je zvýšená depozice dusíku a teplotní a srážkové poměry podmíněné probíhající klimatickou změnou. Důvodem slabých změn ve druhovém složení zkoumaných lesů je vazba těchto společenstev na reliktnější ekotopy a tedy i zvýšená rezistence vegetace vůči vnějším faktorům. Přesto byla ve zkoumané vegetaci detekovaná probíhající taxonomická homogenizace.

Klíčová slova: jedliny, jedlové doubravy, acidofilní bory, lesní vegetace, vegetační změna, ekologická indikace, funkční vlastnosti, změna environmentálních podmínek

Abstract

The thesis focuses on repeated phytosociological relevés in the Křivoklátsko Protected Landscape Area. The original research was carried out in the period 1976–2003 under the auspices of the Czech Academy of Sciences and was conducted under the leadership of RNDr. Jiří Kolbek, CSc. It was an extensive research of the protected landscape area and the Křivoklátsko Biosphere Reserve, which resulted in the publication of comprehensive monographs devoted to a map of potential vegetation, flora, geobotanical mapping and an overview of vegetation units in the area. Thanks to this, Křivoklátsko has become one of the most phytosociologically explored areas in the Czech Republic. The aim of the diploma thesis was to assess possible changes in (sub)acidophilous forest vegetation in connection with, landscape eutrophication, climate change or forest management. When collecting data in the field, emphasis was given on the most accurate location of the original relevés. The actual data collection was carried out according to the principles of the Zürich–Montpellier School in accordance with methodological procedures in the past. The data were then digitized in the Turboveg program and statistically evaluated using multidimensional analyzes.

The results showed a reduction in species richness, especially in the herbaceous layer. The decline of silver fir (*Abies alba*), one of the major tree species in the Křivoklát region in the past, is also noticeable. From the point of view of Ellenberg's indication values and the investigated functional properties of the represented plants, the work did not show any significant changes in vegetation, with the exception of ratio of myrmecochory, where a decrease in potentially myrmecochoric taxa was found. There was no demonstrable difference in the width of the ecological amplitude of the observed plant species. It can therefore be concluded that there have been no significant changes in vegetation in the Křivoklát region, although we assume a probable shift in environmental factors, such as

increased nitrogen deposition and temperature and precipitation conditions due to ongoing climate change. The reason for the slight changes in the species composition of the studied forests is the linkage of these communities to more relict ecotopes and thus the increased resistance of vegetation to external factors. Nevertheless, ongoing taxonomic homogenization was detected in the investigated vegetation.

Key words: fir forests, fir–oak forests, acidophilous pine forests, forest vegetation, vegetation change, ecological indication, functional properties, change of environmental conditions

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce.....	11
3	Lokalizace a charakteristika zájmové oblasti	11
3.1	Zeměpisná lokalizace	11
3.2	Vývoj lokality z hlediska ochrany území.....	11
3.3	Historie území	13
3.4	Klimatické podmínky a hydrologie.....	14
3.5	Geologie	15
3.6	Zoologie	16
3.7	Botanika	17
3.8	Lesní hospodaření	18
3.9	Vegetační typy zájmových území	19
4	Rozbor problematiky	21
4.1	Fytocenologie a fytocenologický snímek.....	21
4.2	Problematika přesnímkování.....	23
5	Metodika.....	24
5.1	Plochy pro snímkování.....	24
5.2	Zpracování fytocenologických dat.....	25
6	Výsledky:.....	30
6.1	Frekvenční analýza druhů:	30
6.2	Jednorozměrné analýzy	33
6.3	Mnohorozměrné analýzy.....	38
7	Diskuze	49
8	Závěr.....	51
9	Literatura	52

1 Úvod

Působení člověka na okolní prostředí je staré jako lidstvo samo. Zpočátku člověk životní prostředí příliš nepozměňoval, ale to se změnilo s nástupem zemědělství. Začalo přetváření a přizpůsobování si krajiny, které zatím neskončilo. V době průmyslové revoluce začal člověk ve velkém využívat přírodní zdroje jako je uhlí nebo ropa a znečišťovat ovzduší cizími látkami. Vymírání živočišných a rostlinných druhů se tím jen zrychlilo.

V poslední době jsou často skloňovány otázky klimatické změny, eutrofizace krajiny nebo taxonomické homogenizace (ztráty biologické rozmanitosti). V neposlední řadě lesy trpí různými abiotickými (vítr, mráz, sucho) i biotickými (nemoci a škůdci) problémy. Na přírodu stále vzrůstá antropogenní tlak v podobě imisí z dopravy, průmyslu nebo zemědělství. Zvyšují se depozice těžkých kovů. Předpokládá se, že vegetace bude na tyto faktory prostředí reagovat. Například změnou dominantních druhů, zvýšením zastoupení skupin nitrofytů nebo ruderálních taxonů, případně ochuzením druhové rozmanitosti. Vzhledem k tomu, že Křivoklátsko bylo v minulosti předmětem rozsáhlého fytoecologického výzkumu, máme dostupná podrobná data z dřívější doby. Je tedy z čeho vycházet. Pokud se nám podaří pořídit stejným způsobem a ve stejném rozsahu nová data z původních lokalit, můžeme s odstupem cca čtyřiceti let porovnat obě sady snímků za pomoci statistických metod. Tímto porovnáním můžeme získat informace, které třeba naznačí, jestli v lokalitě Křivoklátska výše uvedené přímé i nepřímé faktory prostředí nějak ovlivňují lesní vegetaci nebo zda se místní vegetace environmentálním trendům přizpůsobila nebo do jaké míry zůstává rezistentní. Dosud proběhly v některých regionech Evropy studie zabývající se vývojem vegetační skladby na základě přesnímkování staršího materiálu (Lenoir et al. 2010; Reinecke et al. 2014). Výsledky těchto studií budou porovnány s výsledky práce.

2 Cíl práce

V 80. letech minulého století byl v oblasti Křivoklátska proveden rozsáhlý fytoocenologický výzkum za účelem zmapování vegetace na území CHKO a Biosférické rezervace Křivoklátsko. Oblast se tak stala jednou z nejlépe fytoocenologicky zmapovaných v celé České republice. Výzkum byl zaměřen na všechny vegetační typy, nicméně lesní porosty byly zkoumány zvláště podrobně. Díky tomu vznikl obsáhlý ucelený materiál, který skýtá velký potenciál pro studium vegetační změny. Cílem práce je pořízení nových fytoocenologických snímků na původních místech v jedlinách, jedlových doubravách a acidofilních borech tak, aby bylo možné snímky porovnat a posoudit případnou změnu vegetace a významných indikačních hodnot v dlouhodobém časovém horizontu. Proto bude sběr dat probíhat podle stejných zásad jako v případě snímků historických a bude snaha o přesnou lokalizaci původních lokalit.

3 Lokalizace a charakteristika zájmové oblasti

3.1 Zeměpisná lokalizace

Lokalita Křivoklátsko se nachází na území Křivoklátské vrchoviny, což je geomorfologický celek ve Středočeském a částečně Plzeňském kraji. Křivoklátská vrchovina patří do Brdské oblasti v Poberounské soustavě. Samotné území je ještě dělí na geomorfologické podcelky Zbirožskou vrchovinu (nejvyšší bod Radeč 721 m. n. m.) a Lánskou pahorkatinu (nejvyšší bod Tuchonín 487 m. n. m.). V této vrchovině se nachází Chráněná krajinná oblast a Biosférická rezervace Křivoklátsko s celkovou rozlohou 62 792 ha v rozmezí nadmořských výšek 224–616 m. Obsahuje celkem pět správních okresů a to hlavní částí Rakovník a Beroun a menšími částmi Rokycany, Kladno a Plzeň–sever. Hlavním vodním tokem území je řeka Berounka (Zíková 2005).

3.2 Vývoj lokality z hlediska ochrany území

Křivoklátsko je jedinečně zachovalý krajinný celek. Najdeme zde rozlehlé, souvislé lesy s pestrou druhovou skladbou, které jsou často stále tvořené původními dřevinami typickými pro středoevropské listnaté háje. Stejně tak bylinná vegetace je na mnoha místech zatím nevýrazně či slabě ovlivněná antropickými dopady. Některé

části Křivoklátska si zachovaly krajinou takovou, jaká zde byla pravděpodobně před příchodem člověka. Jsou zde samozřejmě i další ochrany hodné prvky jako pestrá geologická stavba území, rozmanitá původní fauna a v neposlední řadě i historické památky. To vše vedlo logicky k potřebě větší ochrany území, aby nebyl rovnovážný stav mezi činností člověka a přírodou narušen. Proto zde byla ministerstvem kultury ČSR 24.11.1978 vyhlášena chráněná krajinná oblast podle zákona č. 4/56 Sb. o státní ochraně přírody (Palivec a kol. 1986). Již ve fázi přípravy vyhlášení CHKO byla tato oblast navržena i k zařazení do mezinárodní sítě biosférických rezervací v rámci programu UNESCO *Man and Biosphere* – Člověk a biosféra, kam bylo Křivoklátsko v roce 1977 zařazeno. Nejcennější lokality v rámci CHKO mají statut národní přírodní rezervace, jmenovitě to jsou Týřov, Velká pleš, Kohoutov a Vůznice. Dále se zde nachází celkem 15 přírodních rezervací a pět přírodních památek (AOPK 2007).

Další úrovně ochrany bylo dosaženo začleněním částí území do soustavy NATURA 2000. Ptačí oblast Křivoklátsko byla vytvořena uvnitř stávajícího CHKO na území zaujímajícím 31 932 ha. Vyhlášení předcházely dlouhodobý ornitologický výzkum, který prokázal, že kritéria pro zařazení území mezi ptačí oblasti splňuje osm druhů ptáků – včelojed lesní (*Pernis apivorus*), výr velký (*Bubo bubo*), kulíšek nejmenší (*Glaucidium passerinum*), žluna šedá (*Picus canus*), strakapoud prostřední (*Dendrocopos medius*), ledňáček říční (*Alcedo atthis*), lejsek bělokrký (*Ficedula albicollis*) a lejsek malý (*Ficedula parva*). Kromě těchto druhů splňujících potřebná kritéria zde můžeme spatřit i další vzácné druhy uvedené ve směrnici o ptácích - čápa černého (*Ciconia nigra*), chřástala polního (*Crex crex*) a další druhy. Dle Směrnice o stanovištích (Směrnice Rady č. 92/43/EHS z 21. května 1992) by bylo možné do národního seznamu soustavy Natura 2000 zařadit velkou část původních lesů, přesto byly jako evropsky významné lokality vymezeny tyto:

– Týřov – Oupořský potok – lokalita navržena k ochraně dubohabřin, suťových lesů, bučin, jasano–olšových luhů, teplomilných křovin a ovsíkových luk.

– Vůznice – zde se vyskytují dubohabřiny, suťové lesy, bučiny, jasano–olšové luhy a vegetace skalních a suťových stanovišť.

– Lánská obora – území zahrnuje vlastní oboru a údolí Klíčavského potoka a specificky bylo navrženo k ochraně dubohabřin, bučin, suťových lesů, vlhkých chudých doubrav, smilkových luk a vlhkých bezkolencových luk.

Na Křivoklátsku najdeme tři zástupce bezcévných rostlin zařazené do přílohy II Směrnice o stanovištích. Všechny tři jsou druhy mechorostů – jmenovitě srpnatka fermežová (*Hamatocaulis vernicosus*), dvouhrotec zelený (*Dicranum viride*) a šikoušek zelený (*Buxbaumia viridis*) (AOPK 2007).

V roce 2010 byl na Křivoklátsku vyhlášen tehdejším ministrem zemědělství Jakubem Šebestou první lesnický park v České republice. Vznik byl iniciován Českou lesnickou společností. Lesnický park usiluje o zařazení do Mezinárodní sítě modelových lesů, projektu zaměřeného na trvale udržitelné využití krajiny. Tento park však nemá žádnou oporu v zákonné legislativě. Podle zakladatelů jde jen o dohodu majitelů a správců pozemků, že na daném území budou hospodařit podle určitých pravidel.

Od roku 2008 je také diskutován převod nejcennější části CHKO (asi jedna šestina území) na statut národního parku. Ministerstvo životního prostředí připravilo kompletní návrh a k tomuto záměru byly uspořádány dva průzkumy veřejného mínění, kdy obyvatelstvo vyjádřilo podporu vzniku národního parku. Současně vznikla i petice proti tomuto záměru, iniciovaná především lesníky a myslivci, kterou podepsalo 14 000 lidí. Návrh byl ministrem Tomanem nakonec odmítnut s tím, že stávající ochrana křivoklátské přírody a krajiny je dostatečná (www5).

3.3 Historie území

Osídlení oblasti je doloženo již v mladším paleolitu nálezem sídliště lovců mamutů u obce Lubná. Archeologické lokality z doby bronzové byly nalezeny u obcí Hýskov, Zbečno a Zdice. Oblast byla osídlená rovněž v době železné následované příchodem Keltů na Křivoklátsko. Poté se zde po krátké pauze od přelomu letopočtu do 5. stolení našeho letopočtu vyplněné Germánským osídlením usadili Slované.

Již kolem 10. století platí Křivoklátské lesy za výhradní oblast knížecího lovu. V té době vzniká obec Zbečno, kde byl zbudován knížecí dvorec. K roku 1005 je doložena i existence obce Slabce. Majestátní dominantu území, hrad Křivoklát, byl zbudován z rozkazu krále Václava I. okolo roku 1320 (Zíková 2005). Koncem 17.

století se začalo se zakládáním panských dvorů na vyklučných plochách – např. obec s charakteristickým názvem Požáry. V této době začíná rozvoj železných hutí a počíná se s využívání zdejších rozsáhlých lesů pro výrobu dřevěného uhlí. Dodnes lze nalézt v terénu pozůstatky mnoha milířišť (na Křivoklátsku se odhaduje jejich počet na několik tisíc). Naštěstí byly za účelem této výroby klučeny menší plochy lesa a les se na takto využívaných místech zvládal přirozeně obnovovat nálety (Průša 1990). I přes prakticky nepřetržité osídlení Křivoklátska je v celé oblasti velmi malá hustota obyvatel – pouze asi 45 obyvatel/km² (Zíková 2005).

3.4 Klimatické podmínky a hydrologie

Oblast je mírně teplá, ale srážkové sušší. Průměrné roční teploty se pohybují od 6,9 °C (Lány – výše položená lokalita) do 8,2 °C (Křivoklát – nižší, teplejší polohy). Nejstudenějším měsícem je leden (Lány – 2,7 °C), nejteplejším červenec (Křivoklát – 18,5 °C). V průběhu roku se vyskytuje v průměru 50 – 56 jasných dnů a 108 dnů bez slunečního svitu. S ohledem na nadmořskou výšku je roční úhrn srážek asi o 25 % nižší, než je obvyklé pro zdejší geografickou polohu ve střední Evropě. Tento fenomén je způsoben srážkovým stínem Krušných hor a Džbánu, kteréžto celky zadržují většinu srážek přinášených západním a severozápadním prouděním. Nejchudší na srážky je území kolem Rakovníka (roční suma asi 486 mm) a Berouna (roční suma pouze 288 mm). Srážkově nejbohatší je naopak centrální Křivoklát s průměrem 808 mm. Srážkových dnů je v roce v průměru 130 – 170 a sněží v průměru 25 – 35 dní v roce, sněhová pokrývka je slabá. Na Křivoklátsku převládá západní a jihozápadní proudění vzduchu (Palivec a kol. 1986).

Celé území je odvodňováno prostřednictvím Berounky do severního moře. Významné vodní plochy tvoří Klíčavská přehrada a rybníky na Zbirožském potoce - Dvorský, Čápský a Podzbirožský (ÚHÚL 2000). Celková plocha stojatých a tekoucích vod zahrnuje asi 0,63 % území. Největší podíl připadá na Berounku, zbytek potoků tvoří 30 ha a stojaté vody zaujímají rozlohu 140 ha. Berounka má na území dlouhodobý průměr průtoku 31,8 m³/s. Její koryto se místy výrazně zařezává do okolního terénu a vytváří tak výrazný údolní fenomén. Má mnoho levostranných i pravostranných přítoků charakterizovaných často krátkými a značně prudkými roklinovitými povodími. Z významných přítoků lze jmenovat namátkou – Javornici,

Rakovnický potok, Klíčavu, Vůznici, Žlubinecký potok, Hýskovský potok, Zbirožský potok, Skryjský potok nebo Loděnici (Zíková 2005).

3.5 Geologie

Z geologického hlediska se jedná o území velmi staré, na většině území CHKO je podloží tvořeno fylitickými břidlicemi a droby, které se usazovaly na dně starohorního moře. Ve stejné době docházelo i k výlevům sopečných hornin (tzv. spilitů) z podmořských sopek. Tak vznikla například Čertova skála na levém břehu Berounky nedaleko Roztok. Při doznívání sopečné činnosti vznikaly působením primitivních mikroorganismů na gely kyseliny křemičité velmi tvrdé horniny - buližníky. Typickým příkladem je Vraní skála. Koncem starohor došlo k assyntskému vrásnění, následkem čehož se mořské dno postupně zvedalo, až se stalo souší (Zíková 2005). Asi před 500 miliony let oblast opět poklesla a byla znovu zalita mořem. V okolí Skryj a Křivoklátu vznikl mělký záliv, kde v prosluněné vodě výborně prospívali bezobratlí živočichové. Právě v těchto místech objevil v první polovině 19. století Joachim Barrand zkameněliny těchto tvorů. Trilobiti se uchovali především v takzvaných skryjských paradoxidových břidlicích. Ve svrchním kambiu došlo k obnovení sopečné činnosti a vzniku křivoklátsko – rokycanského pásma vyvřelých hornin, které tvoří dominantu území. Pozdější horninotvorná činnost byla již jen slabá a lokální. V údolí Berounky vznikly říční terasy naplavením štěrků a písků. Ve čtvrtohorách prudké klimatické výkyvy způsobily silnou erozi a říční toky se hluboko zařizly i do tvrdých vyvřelých hornin. Tyto klimatické změny podporující zvětrávání podloží vedly ke vzniku dalších geologických útvarů, jako jsou kamenité sutě a svahové hlíny vznikající zvětráváním hornin skalního podkladu. Různé druhy hornin mají různou odolnost vůči zvětrávání, a zejména odolné buližníky tvoří zdejší významný krajinný prvek v podobě izolovaných mohutných výchozů skal (místní útvary Světovina nebo Juglovka). Ve čtvrtohorách vznikají také spraše a sprašové hlíny, které byly akumulovány eolickou činností. V oblasti Křivoklátska je najdeme hlavně na severu území, kde tvoří až několik metrů silné vrstvy (Palivec a kol. 1986).

Nejčastěji se vyskytujícím půdním typem je kambizem typická mezotrofní - středně bohatá písčitohlinitá půda. Geologickým podložím jsou porfyry nebo spility.

Humózní A_{0l} horizont má mocnost kolem 10 cm. Naopak kambizem typická oligotrofní má nepatrný humózní A₀ horizont a vzniká na algonkických břidlicích. Na pleistocenních hlínách vznikly kambizemě luvické a luvizemě. Na prudkých svazích najdeme kamenité kambizemě rankerové, které jsou druhým nejrozšířenějším typem na tomto území. Samotné rankery tvoří rozpadající se skaliska, kamenná moře a suťové svahy. Na podloží tvořeném permokarbonskými písčitými sedimenty najdeme podzoly, jsou však zde vzácné. Pseudogleje vznikly následkem střídavého zamokření půdního profilu na místech s hlubokou jílovitohlinitou půdou na pleistocenních hlínách. Půdní typ litozem najdeme na skalních výchozech, skalnatých svazích a buližnickových skalách roztroušeně se vyskytujících po Křivoklátsku (ÚHUL 2000).

3.6 Zoologie

Díky lesnímu krytu a příznivým podmínkám bylo vždy Křivoklátsko vyhlášené množstvím zvěře a je obecně označováno za kolébku české myslivosti. Z původní spárkaté zvěře se hojně vyskytuje jelen lesní (*Cervus elaphus*), srnec obecný (*Capreolus capreolus*) a prase divoké (*Sus scrofa*). V minulosti zde byly introdukovány další druhy, kterým se zde dobře daří – muflon obecný (*Ovis aries musimon*) a daněk skvrnitý (*Dama dama*). Nalezneme hojně jezevce lesního (*Meles meles*) a dokonce i vydru říční (*Lutra lutra*). Vhodné podmínky pro ptactvo podmiňují výskyt čápa černého (*Ciconia nigra*), ledňáčka (*Alcedo atthis*) nebo dudka chocholátého (*Upupa epops*). Vyskytuje se zde velké množství nejrůznějších obojživelníků, plazů a bezobratlých. Na řece Berounce žije naše největší populace užovky podplamaté (*Natrix tessellata*). Je zde hojná i užovka hladká (*Coronella austriaca*), ještěrka zelená (*Lacerta viridis*) a ještěrka živorodá (*Zootoca viviparia*). Obojživelníky reprezentuje například kuňka žlutobřichá (*Bombina variegata*), čolek horský (*Ichtyosaura alpestris*) a mlok skvrnitý (*Salamandra salamandra*). V některých potocích žije rak kamenáč (*Austropotamobius torrentium*) a vranka obecná (*Cottus gobio*). Vzácností je nález velevruba tupého (*Unio crassus*), který žije v jediném vodním toku (ÚHÚL 2000). Dostatek dřeva ponechaného přirozenému rozpadu vytváří podmínky pro přežití brouků, kteří musí prodělat víceletý vývoj ve starých stromech. Jsou to například kovařící nebo náš největší brouk roháč obecný (*Lucanus cervus*), jehož larvy se 3 – 5 let vyvíjejí v trouchnivějícím dřevě. Páchník

hnědý (*Osmoderma eremita*) naopak preferuje staré, soliterně stojící stromy. Staré duby vyhledává další domácí broučí gigant, tesařík obrovský (*Cerambyx cerdo*).

3.7 Botanika

Přirozenou formou vegetace na Křivoklátsku je bezesporu les, který zaujímá přes 60 % jeho plochy. Pouze na stanovištích s extrémními mikroklimatickými nebo půdními poměry nacházíme jiné formy vegetace jako například tzv. pleše, což jsou fyziognomicky vyhraněná společenstva suchomilných bylin a travin. Tato místa jsou botanicky velmi bohatá, roste zde například bělozářka větvitá (*Anthericum ramosum*), koniklec luční načernalý (*Pulsatilla pratensis* subsp. *bohemica*), kavyl Ivanův (*Stipa pennata*) a rozrazil klasnatý (*Veronica spicata*) (ÚHÚL 2000). Na lesní vegetaci navazují společenstva křovin, jejichž rozmanitost je zde nadprůměrná. Najdeme zde hlohy (*Crataegus*), růži šípkovou (*Rosa canina*), svídy (*Swida*), krušinu olšovou (*Frangula alnus*), řešetlák (*Rhamnus*), lísku obecnou (*Corylus avellana*) nebo trnku obecnou (*Prunus spinosa*). Křivoklátsko je také jednou z mála oblastí, kde se zachoval tis červený (*Taxus baccata*) ve svém přirozeném prostředí v početnějších populacích. Můžeme jej nalézt hlavně ve skalách v okolí Berounky nebo v hlubokých bočních údolích Javornice, Zbirožského a Úpořského potoka. Na území CHKO je evidováno cca 3 000 jedinců tisu.

Z bylinné vegetace stojí za zmínku především lesní květena - například kyčelnice devítelistá (*Dentaria enneaphyllos*), sasanka hajní (*Anemone nemorosa*), bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis*) a černýš luční (*Melampyrum pratense*). Ve světlých lesích lze objevit chráněnou lilii zlatohlavou (*Lilium martagon*). Na sušších půdách s bazickým podkladem narazíme na chrpu Triumfettiho (*Centaurea triumfettii*), jaterník podléšku (*Hepatica nobilis*), mařinku vonnou (*Galium odoratum*), kyčelnici cibulkonosnou (*Dentaria bulbifera*) nebo ptačinec velkokvětý (*Stellaria holostea*). Naopak v údolích potoků ve vlhčích místech se setkáme s prvosenkou vyšší (*Primula elatior*), měsíčnicí vytrvalou (*Lunaria rediviva*), křivatcem jarním (*Gagea lutea*) a blatouchy (*Caltha*). Na mnoha místech jsou zachované přirozené louky, především v okolí vodních toků. Zde nalezneme mnoho druhů travin a i vytrvalé plevely - rdesno hadí kořen (*Bistorta major*), krkavec toten (*Sanguisorba officinalis*) a některé vstavačovité – například zdejší klenot vstavač

osmahlý (*Orchis ustulata*). Velmi vzácná jsou společenstva s výskytem vřesu (*Calluna vulgaris*) (Zíková 2005).

3.8 Lesní hospodaření

Původní dřevinná skladba lesů Křivoklátska byla převážně listnatá a jedlová. Z map z let 1810 – 1816 je patrná převaha bukových a dubových porostů, výrazně je zastoupená jedle a bříza, která obsazovala především holiny spontánní sukcesí. Na mapách z let 1890 – 1910 lze vyčíst velký rozmach smrkových monokultur a to i přes to, že smrkové monokultury byly postihovány četnými kalamitami – mnišková kalamita v letech 1918 – 1922 nebo větrná a sněhová kalamita v letech 1939 – 1941. Tyto holiny byly znovu zalesněny smrkem a borovicí (Svoboda 1943). Přírozená skladba dřevin byla: 44 % dub, 12 % buk s velmi pestrá příměsí ostatních dřevin – jedle, habr, javor, lípa a olše. Část byla přeměněna na výše zmíněné smrkové monokultury a část obhospodařována jako pařeziny dubu a habru. Část současných porostů habru je stále ve formě „předržených“ pařezin. Nejvíce lesů s přeměněnou skladbou najdeme v jižní části regionu na pleistocenních plošinách a taktéž v severní části. Naopak nejzachovalejší porosty jsou ve střední části na polesích Kouřimec a Dřevíč (Průša 1990).

Tabulka 1: Současná skladba dřevin na Křivoklátsku (ÚHÚL 2000).

Dřevina	jehličnany	smrk	jedle	borovice	modřín	douglaska	jedle obrovská	ostatní			
ha	33 691	15 759	467	13 232	4 092	116	19	6			
%	60	28	1	23	7	0	0	0			
Dřevina	listnáče	dub	buk	habr	javor	jasan	akát	bříza	lípa	ostatní	
ha	22 827	10 269	4 163	3 303	569	696	891	1 003	1 051	855	
%	40	18	7	6	1	1	2	2	2	1	

Průměrný věk porostů je uváděn 64 let pro jehličnany, 77 let pro listnáče a 69 let v souhrnu. Celková zásoba porostů činí skoro 11 milionů metrů krychlových (počítáno hroubí bez kůry). To znamená průměrně 191 m³ na 1 ha (ÚHÚL 2000).

3.9 Vegetační typy zájmových území

Jedliny a jedlové doubravy – jedle bělokorá (*Abies alba*) udává celkový ráz porostu a je zde významnou edifikační dřevinou. Přirozené jedliny tvořil v oblasti Křivoklátska pravděpodobně les podobný výběrnému, stromy měly hluboko nasazené koruny. Křivoklátská lesníci vytvořili v minulosti vlastní metodu pěstování jedle pod ochranou březových a borových porostů (Svoboda 1943). První zprávy o odumírání jedle v oblasti pocházejí již z počátku 19. století. Odumíraly hlavně čisté jedliny, ve smíšených porostech se držela jedle vitální ještě ve třetině 20. století (Šnobl 1934). Později dochází vlivem velkoplošného hospodaření a průmyslových imisí k razantnímu úbytku jedle ze všech porostů a dnes se zachovaly pouze fragmenty. Křivoklátské jedlové lesy náležejí do dvou fytoocenologických řádů, a to:

– *Fagetalia sylvaticae* Pawłowski in Pawłowski, Sokołowski & Wallisch 1928 se svazy:

– *Fagion* Luquet 1926 – vzácný výskyt na pseudoglejích

– *Luzulo – Fagion* Lohmeyer & Tüxen in Tüxen 1954 – dělí se na dvě asociace a vyskytující se na pseudooglejených půdách a skeletovitých hnědozemích prudkých svahů některých údolí

– *Quercetalia robori – petraeae* Braun-Blanquet & Tüxen ex Oberdorfer 1957 se svazem:

– *Genisto germanicae – Quercion* Neuhäusl & Neuhäuslová-Novotná 1967 – přirozené porosty jedlin asociace *Luzulo pilosae-Abietum* se na Křivoklátsku nezachovaly. Místo jedle byl vysazován smrk, který na stanovištích přirozeného výskytu jedle v málo propustných pseudooglejených půdách trpí vývraty. To potvrzuje důležitou úlohu jedle jako zpevňující dřeviny v místech jejího přirozeného výskytu. Asociace *Deschampsio-Abietetum* se místně zachovala na svazích např. v údolí Javornice (Kolbek a kol. 2003).

Acidofilní doubravy – vegetační podsvaz *Genisto germanicae-Quercion* Neuhäusl & Neuhäuslová-Novotná 1967 sdružuje vegetaci kyselých silikátových půd. Společenstva svazu tvoří řídké dubové a borodubové porosty s dominancí dubu

zimního (*Quercus petraea*), dubu letního (*Quercus robur*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Bylinné patro tvoří acidofilní druhy, především *Deschampsia flexuosa*, *Festuca ovina*, *Genista germanica*, *Silene nutans* a různé druhy rodu *Hieracium* (Kolbek a kol. 2003). Půdy jsou tedy kyselé, oligotrofní hnědozemě s různým množstvím skeletu - od mělkých rankerových hnědozemí na svazích po hlubší oligotrofní hnědozemě (Moravec 1998).

Na Křivoklátsku jsou acidofilní doubravy zastoupeny pěti asociacemi:

- *Luzulo albidae-Quercetum* Hilitzer 1932
- *Molinio arundinaceae-Quercetum* Samek 1962
- *Vaccinio vitis-idaeae-Quercetum* Oberdorfer 1957
- *Viscario-Quercetum* Stöcker 1965
- *Calluno-Quercetum* Schlüter ex Passarge in Scamoni 1963

Acidofilní bory – původní borové porosty se na Křivoklátsku vyskytují na silikátových substrátech a jsou zastoupeny pěti společenstvy:

Asociace *Cladonio rangiferinae* – *Pinetum sylvestris* Juraszek 1928 sdružuje lišejníkové bory s chudým bylinným patrem. Diagnostický význam má především mechové patro s bohatým zastoupením lišejníků, hlavně rodu *Cladonia*. Lišejníkové bory jsou u nás zastoupeny velmi vzácně a to pouze na Křivoklátsku.

Asociace *Hieracio pallidi* – *Pinetum* Stöcker 1965 je naopak druhově bohatší. Vyskytují se zde acidofilní druhy jako u ostatních borů ale najdeme i na živiny náročnější rostliny. Opět se na Křivoklátsku vyskytuje maloplošně a na slunečných svazích.

Asociace *Cardaminopsio petraeae* – *Pinetum* Hübl & Holzner 1977 je reliktní chudé společenstvo ve kterém můžeme v bylinném patře nalézt významný diagnostický druh *Cardaminopsis petraea*.

Asociace *Deschampsia flexuosa* – *Pinus sylvestris* se vyskytuje v jižní části území na bulžňákových výchozech. Bylinné patro opět chudé, lze nalézt pouze několik silně acidofilních druhů jako např. *Deschampsia flexuosa* a *Vaccinium myrtillus*. Mechové patro je bohaté na lišejníky, zejména rod *Parmelia*.

Společenstvo *Betula pubescens* agg. – *Pinus sylvestris* je jediným vlhčím typem lesa. Na Křivoklátsku bylo snímkováno pouze na Černé skále u Líšné. Odlišné podmínky od ostatních acidofilních borových společenstev se projevují hlavně v mechovém patře (Kolbek a kol. 2003).

4 Rozbor problematiky

4.1 Fytocenologie a fytoecnologický snímek

Fytoecnologické snímkování je základním postupem používaným ke zkoumání rostlinných společenstev v odvětví botaniky nazývaném fytoecnologie (v anglické literatuře uváděném jako *phytosociology*; Kent 2011). Metodologii rozvinul především Švýcar Josias Braun-Blanquet v první polovině 20. století. Vystudoval v Curychu a většinu života učil na univerzitě a pracoval jako ředitel soukromé Mezinárodní stanice pro středomořskou a alpskou botaniku ve francouzském Montpellier, kterou také sám založil (stanice používala zkratku SIGMA dle jejího francouzského názvu). Odtud používaný název curyško-montpelliérská fytoecnologická škola. Ve své učebnici Pflanzensociologie (1928) vytváří první pravidla pro fytoecnologické snímkování – stanovení pravidel pro záznam vegetace přímo v terénu. Braun-Blanquet rovněž se svými spolupracovníky vytvořil první klasifikaci rostlinných společenstev dle standardizovaných postupů, které uvádějí rovněž jednotlivé kroky k analýze a syntéze primárních fytoecnologických snímků pořizovaných během terénní práce (Moravec a kol. 1994; Michalcová 2010).

Postup fytoecnologického snímkování lze stručně charakterizovat následujícím způsobem: nejprve se vymezí a fixuje zkusná plocha, jejíž velikost se pohybuje od několika metrů čtverečných až po několik set metrů čtverečných a je nejčastěji tvaru čtverce nebo obdélníku. Větší plochy se volí hlavně na stanovištích druhově chudších a naopak. V případě, kdy mapujeme například skalní výchoz, má plocha velikost a tvar postihující tento výchoz. V dalším kroku hodnotíme pokryvnost jednotlivých vegetačních pater – tedy zvláště mechy a lišejníky, byliny a semenáčky rostlin, keře, stromy a popřípadě ještě liány a epifyty. Výskyt jednotlivých druhů ve snímku hodnotíme podle předem zvolené stupnice pokryvnosti (obecněji *abundance*; Kent 2011), nejčastěji Braun-Blanquetovy původně

sedmičlenné stupnice, kterou později rozšířili modifikací Westhoff a van der Maarel (Westhoff & Van Der Maarel 1978). Příklady jiných pokryvnostních stupnic s obdobným členěním jsou Domin-Hadačova, Hult-Sernanderova nebo Zlatníková stupnice; v případě opakovaného monitoringu vegetace se používá dosti detailní Londova stupnice (Kent 2011). U snímku je důležité poznamenat i další povinné údaje jako je nadmořská výška, expozice svahu, geografické souřadnice (dnes pomocí GPS přijímačů), datum snímkování a autora snímku. V případě důkladnějšího výzkumu je možné odebrat vzorky půdy na fyzikálně-chemické rozborů (Moravec a kol. 1994).

Fytocenologické snímky jsou řazeny do fytocenologických jednotek podle předem dané hierarchické posloupnosti. Pravidla řazení jsou dány Mezinárodním kódem fytocenologické nomenklatury (Weber et al. 2000). Základní jednotkou curyšsko-montpelliérské klasifikace je tzv. asociace, tedy společenstvo rostlin, které můžeme charakterizovat konkrétními floristickými a sociologickými znaky. Rozlišujeme několik základních fytocenologických úrovní a jejich podúrovní odlišujících se koncovkou svých latinských pojmenování. Základy této mezinárodní nomenklatury položil Braun-Blanquet v pionýrské publikaci z roku 1921 (Braun-Blanquet 1921).

Díky fytocenologickým snímkům můžeme studovat rostliny na úrovni společenstev, tedy na vyšší úrovni než jsou rostlinné populace. Jednotlivá společenstva se rozlišují na základě tzv. diagnostických druhů, což jsou druhy, které se vyskytují především v určitém konkrétním společenstvu. Dále se popisují tzv. konstantní druhy – tyto se vyskytují ve společenstvu s vysokou frekvencí, ale vyskytují se hojně i v jiných společenstvech; a nakonec dominantní druhy, které mají v konkrétní vegetační jednotce vysokou pokryvnost (abundanci), ale nalezneme je v menší míře i v jiných společenstvech. Definováním diagnostických, konstantních a dominantních druhů vzniká tzv. význačná druhová kombinace, která přesně charakterizuje floristickou skladbu vymezeného společenstva na úrovni asociace. (Chytrý 2007).

Na základě snímků lze dále nalézat odpovědi na základní i odvozené ekologické otázky – např. jaké podmínky prostředí obsazené danou fytoocenózou

(jako je vlhkost, teplota nebo sluneční ozáření) jsou silně korelovány s konkrétním spektrem druhové skladby zkoumaného rostlinného společenstva (Michalcová 2010). Fytcenologické snímky jsou v moderní počítačové době elektronicky databázovány – největší světová databáze je sPlot (*Global Vegetation Database*). V České republice je stěžejní databází fytcenologických snímků Česká národní fytcenologická databáze, kterou založil v roce 1996 na katedře botaniky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity profesor Milan Chytrý (www1). Tato databáze do současné doby obsahuje 113 568 (červenec 2019) fytcenologických snímků pořízených v rozpětí let 1922–2019 (www1).

4.2 Problematika přesnímkování

Pravděpodobně největším problémem při přesnímkování historických fytcenologických snímků je přesná lokalizace původního místa, které zpravidla nebývá nijak trvale označeno, protože s možností budoucího snímkování na stejném místě bohužel autoři starších snímků jaksí nepočítali. Zvláště při mapování lesních porostů může i odchylka v řádech desítek metrů zkreslit výsledek a toto může mít důsledky pro spolehlivost studií. Pro minimalizování zkreslení výsledků se doporučuje rozdělit přesnímkovávané plochy na trvalé a nevystopovatelné, které je navrženo ještě dále dělit na pravděpodobně správně lokalizované a náhodné. Je také potřeba opakovat snímkování ve stejné vegetační fázi roku a mít dostatečné zkušenosti s tímto typem práce (Kapfer et al. 2017). Je také nutné pořídit informace o tom, zda výzkumné plochy nebyly v mezidobí nějak záměrně ovlivněny člověkem, například cíleným přihnojováním (Wesche et al. 2012).

5 Metodika

5.1 Plochy pro snímkování

Výběr ploch pro tvorbu fytoocenologických snímků nebyl náhodný. Vzhledem ke snaze o přesnější lokalizování již existujících ploch z doby před ca 30–40 lety bylo nutné co nejpřesněji lokalizovat dřívější lokality. K dispozici byly GPS souřadnice původních snímků, které ale byly doplněny mnohem později administrátory fytoocenologické databáze, kteří se sami terénního výzkumu neúčastnili. Při konfrontování těchto souřadnic se skutečností bylo následně zjištěno, že velká část souřadnic vůbec neodpovídá reálným lokalizacím historických snímků. Proto před každou výpravou do terénu bylo nutné porovnat původní GPS souřadnice s mapou (požity byly mapové podklady ze serveru www.mapy.cz) s originálním slovním popisem lokalizace jednotlivých snímků, která byla u každého snímku dostupná. Slovní popis se ukázal být poměrně spolehlivý, takže lokalizace snímků nakonec probíhala tak, že se dle původních souřadnic identifikovalo zhruba širší místo historického vegetačního zápisu a přesná lokalizace daného snímku byla dohledána na základě slovního popisu u snímku ztotožněním orientace svahu a nadmořské výšky. V několika případech, kdy byl snímek pořízen v geograficky ojedinělých podmínkách (např. na Vraní skále u obce Svatá), byla lokalizace jednoznačná, v ostatních situacích byl použit výše uvedený postup k identifikaci lokalizace historického snímku. V případě, kdy daná lokalita nepředstavovala hospodářský les nebo se zde vyskytoval dosud podobný les jako v době historického snímkování, byla při zaměření přesného umístění plochy brána v potaz i druhová skladba a pokryvnostní poměry stromového patra, což významně zvýšilo přesnost umístění. Ztotožněná plocha byla následně ohraničena čtyřmi kolíky s provázkem vždy o výměře původního snímku. V případě, že se snímek nacházel např. na skalním výchozu, byla odhadnuta jeho plocha a pokud souhlasila s plochou původního snímku, byl nový snímek pořízen na celé ploše skalky. V případě že plocha původního snímku byla menší než plocha skalky, byl snímek pořízen na poměrné části se svahovou orientací podle původního snímku. Snímky prováděné ve volném lese měly většinou plochu 400 metrů čtverečných, tudíž byly vytyčeny čtvercem o straně 20 metrů. V dalším kroku byly do terénního zápisníku poznamenány procentuelní pokryvnosti pater E_3 , E_2 , E_1 a E_0 . V jednotlivých patrech byly následně

zapsány zjištěné druhy rostlin s uvedením pokryvnosti druhu podle Braun–Blanquetovy základní sedmičlenné stupnice:

Tabulka 2: Braun–Blanquetova kombinovaná stupnice abundance a dominance (Zdroj: www2).

r	jeden jedinec, pokryvnost zanedbatelná
+	více jedinců, pokryvnost malá, do 1%
1	pokryvnost do 5%
2	pokryvnost v rozmezí 5–25%
3	pokryvnost v rozmezí 25–50%
4	pokryvnost v rozmezí 50–75%
5	pokryvnost v rozmezí 75–100%

V několika případech se přes veškerou snahu nepodařilo místo původního snímku přesvědčivě lokalizovat a proto byly tyto snímky vynechány. V dalších několika případech rostl na místě původního zaznamenaného lesa již nový hospodářský les. V těchto případech byl snímek proveden s poznámkou, že les již není původní.

5.2 Zpracování fytoecologických dat

Získané údaje byly po návratu z terénu přeneseny do elektronické podoby za účelem další práce s daty. Přepsání zápisníků proběhlo do programu MS Excel a jednotlivé tabulky byly následně importovány a sloučeny do databáze programu TURBOVEG for Windows (Hennekens & Schaminée 2001). Pro další práci s daty v analytickém programu JUICE (Tichý 2002) a provedení ordinačních analýz byl využíván export dat z programu TURBOVEG.

V programu JUICE byly vypočítány vážené průměry Ellenbergových indikačních hodnot pro jednotlivé snímky, a to pro hodnoty teploty, kontinentality, světla, vlhkosti, množství živin a půdní reakce. Pro zpracování Ellenbergových indikačních hodnot byly použity revidované hodnoty pro Českou republiku (Chytrý et al. 2018). Tyto vypočítané hodnoty byly posléze využity pro mnohorozměrnou analýzu dat v programu Canoco 5 (Šmilauer & Lepš 2014).

Pro jednotlivé snímky byl spočítán index ozáření (*incident radiation*) a index dotace tepelného záření (*heat load*) dle specializované metodiky (McCune &

Keon 2002), a tyto dvě proměnné prostředí byly taktéž využity pro mnohorozměrnou analýzu dat v programu Canoco 5.

Frekvenční analýza druhů, tedy procentuální vyjádření úbytku druhů nebo naopak intenzity výskytu nově se objevujících druhů byla počítána podle vzorce, který použil Hédli (Hédli 2004; rovnice 1). Pro účel analýzy byla sloučena jednotlivá vegetační patra, tzn. například v případě dřevin došlo ke sloučení juvenilního jedince, a jeho dalšího výskytu v keřovém, popř. též stromovém patře tak, aby vznikla unikátní floristická skladba zápisů. Způsob průměrování cílové pokryvnosti je detailněji popsán v manuálu k programu Juice (www3).

Rovnice 1:

$$C = \pm \left(100 - \frac{Fb}{Fa \div 100} \right) [\%]$$

kde: C ... frekvence druhu [%]

Fa ... vyjadřuje větší číslo v porovnání minulost/současnost

Fb ... vyjadřuje menší číslo v porovnání minulost/současnost

Pro vyjádření šířky ekologické amplitudy druhu byla použita proměnná převzatá ze specializované vegetační analýzy (Zelený & Chytrý 2019). Z elektronického appendixu této publikované studie byly převzaty hodnoty tzv. *Ecological Specialization Index* (ESI). Hodnota ESI indexu pro konkrétní rostlinný druh rovnající se nule představuje tento druh jako maximálního generalistu (tj. vysoce euryekní druh) a hodnota čísla 9 představuje maximálního specialistu (tj. vysoce stenoekní druh). Tyto převzaté hodnoty ESI indexu pro jednotlivé druhy flóry ČR představují průměr přes všechny biotopy v České republice, konkrétní projevy druhů rostlin na území Křivoklátska tak mohou být v jednotlivých případech poněkud odlišné.

S využitím hodnot ESI a frekvence druhů byly následně spočítány průměrné hodnoty ESI indexu (aritmetický průměr) pro tři frekvenčně vyhraněné skupiny druhů (vypočtené dle rovnice 1 výše): rostliny s výrazným úbytkem, rostliny s málo změněnou frekvencí a rostliny nově se objevivší ve snímkovém materiálu (Tabulka 3).

Tabulka 3: Frekvenční skupiny rostlin pro výpočet průměrného ESI indexu (tj. Indexu ekologické specializace).

Skupina rostlin podle průměrného ESI indexu	Rozpětí hodnot
Druhy s výrazným úbytkem	-50–100%
Druhy nově se objevující	+50–100%
Druhy s malou změnou	-50–+50%

Pro podrobnější ekologickou analýzu změn druhové skladby zkoumaných křivoklátských lesních společenstev byly extrahovány tyto biologické vlastnosti (anglicky *traits*): strategie šíření, fenologická fáze kvetení a způsob generativního rozmnožování zastoupených rostlinných druhů. Konkrétní kvalitativní hodnoty těchto vlastností byly staženy pro jednotlivé taxony z české databáze PLADIAS (www3), chybějící údaje byly následně doplněny z německé databáze BIOLFLOR (www4). Tato data byla transformována na kvantitativní hodnoty (viz Tabulky 4–6) a importována do programu JUICE, zde byly následně spočítány průměrné hodnoty pro každý historický i současný snímek. Získané výsledky byly nakonec statisticky porovnány za použití programu STATISTICA 12.

Tabulka 4: Stupnice posouzení hemerobie (Zdroj: www.biolflor.de).

Stupeň hemerobie	Druh vyhledává lokality
1	nedotčené člověkem
2	málo ovlivněné člověkem
3	středně ovlivněné člověkem
4	silně ovlivněné člověkem

Tabulka 5: Stupnice uvádějící fenologickou fázi kvetení (Zdroj: www.biolflor.de).

Fenofáze kvetení	Období kvetení druhu
1	předjaří
2	začátek brzkého jara
3	konec brzkého jara
4	začátek jara
5	konec jara
6	začátek brzkého léta
7	konec brzkého léta
8	léto
9	začátek podzimu
10	podzim

Tabulka 6: Stupnice posuzující způsoby rozmnožování rostlinných druhů (Zdroj: www.biolflor.de).

Zkratka	Kvantitativní hodnota	Způsob rozmnožování
s	1	pouze semeny
ssv	2	hlavně semeny, výjimečně vegetativně
sv	3	semeny i vegetativně
vvs	4	hlavně vegetativně, výjimečně semeny
v	5	pouze vegetativně

Pro odhad intenzity symbiotické fixace dusíku vegetací bylo zjištěno, kolik zástupců čeledi *Fabaceae* se nachází v každém snímku. Z této hodnoty bylo poté v programu JUICE spočítáno procentuelní pokrytí abundancí všech zástupců leguminóz k součtu abundancí ostatních druhů a tento postup byl proveden pro všechny historické i současné snímky. Výsledek byl statisticky vyhodnocen pomocí programu STATISTICA.

Podobně bylo vyhodnoceno i šíření druhů myrmekochoricky. Potenciálně myrmekochorní druhy (dle studie Sádlo et al. 2018) byly porovnány se zbytkem druhů s jinými způsoby šíření v každém současném i historickém snímku a tato data byla opět vyhodnocena za použití programu STATISTICA.

Všechna primární kvantitativní data byla nejprve otestována na normalitu rozdělení pomocí Shapiro–Wilkova testu. Některá data normální rozdělení prokázala, jiná nikoli, a v těchto případech bylo přikročeno k provedení neparametrického statistického testu. Konkrétně bylo použito porovnání dvou nezávislých vzorků pomocí Mann–Whitneyova testu.

Tabulka 7: Vysvětlivky vyjádření rozsahu p hodnoty v grafických výstupech ze statistických testů.

Symbol	Rozpětí p hodnoty
***	$p < 0.001$
**	$0.001 \leq p < 0.01$
*	$0.01 \leq p < 0.05$
NS	$p \geq 0.05$

Pro analýzy funkčních vlastností rostlin byly uvažovány pouze taxony zastoupené s frekvencí nad 5 % alespoň v jednom snímku.

Vyhodnocení dat mnohorozměrnou analýzou bylo provedeno v programu Canoco 5. Použita byla analýza hlavních komponent PCA (*Principal Component Analysis*), která se využívá ke snížení dimenze dat s co nejmenší ztrátou informace. Dále byla použita analýza DCA (*Detrended Correspondence Analysis*), což je multivariační statistická technika sloužící k odhalení hlavních ekologických gradientů ve velkém souboru dat. Dochází při ní k odstranění nežádoucího obloukového efektu ve výsledném ordinčním diagramu detrendací pomocí segmentů (Lepš & Šmilauer 2000). V případě DCA analýzy byl záměrně snížen vliv vzácných druhů na výsledek analýzy v nastavení této analýzy přímo v prostředí programu Canoco 5.

Tabulka 8: Vysvětlivky zkratk jednotlivých proměnných v grafických výstupech z programu Canoco 5

Zkratka	Význam
cov_e0	pokryvnost mechového patra
cov_e1	pokryvnost bylinného patra
cov_e2	pokryvnost keřového patra
cov_e3	pokryvnost stromového patra
Shannon	Shannon-Weinerův index
Simpson	index diverzity dle Simpsona
S-W	index vyrovnanosti dle Smithe a Wilsona
E_moist	Ellenbergova indikační hodnota vlhkosti
E_cont	Ellenbergova indikační hodnota kontinentality
E_temp	Ellenbergova indikační hodnota tepla
E_light	Ellenbergova indikační hodnota světla
E_react	Ellenbergova indikační hodnota půdní reakce
E_nutr	Ellenbergova indikační hodnota zásobení živinami
nr_sp	druhovú bohatost (denzita druhů)
PADIR	Potenciální přímé sluneční záření
heatload	Index tepelného požitku

Nomenklatura taxonů byla sjednocena podle příručky Kubát et al. 2002 pro botanické taxony a podle příručky Houša & Štys 1987 pro zoologické taxony

6 Výsledky:

6.1 Frekvenční analýza druhů:

Výpis taxonů s absolutní změnou frekvence (nejsou zahrnuty v tabulce 9). Druhy, které nebyly v současných snímcích zaznamenány (změna frekvence -100 %):

Ajuga genevensis, *Ajuga reptans*, *Alnus incana*, *Anthericum liliago*, *Anthericum ramosum*, *Asperula cynanchica*, *Carduus crispus*, *Carex humilis*, *Carex muricata ssp. lamprocarpa*, *Carex sylvatica*, *Circaea lutetiana*, *Cirsium palustre*, *Cotoneaster integerrimus*, *Epilobium montanum*, *Equisetum fluviatile*, *Festuca gigantea*, *Filipendula ulmaria*, *Galeopsis angustifolia*, *Galeopsis tetrahit*, *Galium aparine*, *Galium glaucum*, *Galium mollugo*, *Galium pumilum*, *Galium uliginosum*, *Geum rivale*, *Gnaphalium sylvaticum*, *Hieracium echioides*, *Hieracium laevigatum*, *Hieracium racemosum*, *Holcus mollis*, *Hylotelephium maximum*, *Juniperus communis*, *Koeleria macrantha*, *Lemna minor*, *Lonicera xylosteum*, *Lycopus europaeus*, *Molinia species*, *Myosotis palustris* agg., *Nardus stricta*, *Persicaria bistorta*, *Peucedanum palustre*, *Pimpinella saxifraga* agg., *Poa angustifolia*, *Poa palustris*, *Polygala chamaebuxus*, *Potentilla tabernaemontani*, *Prunus spinosa*, *Pyrus pyraeaster*, *Ranunculus repens*, *Ribes uva-crispa*, *Salix cinerea*, *Salix fragilis*, *Scrophularia nodosa*, *Scutellaria galericulata*, *Tanacetum corymbosum*, *Thuidium tamariscinum*, *Trifolium medium*, *Valeriana dioica*, *Veronica chamaedrys*, *Viola canina*, *Viola palustris*, *Viola reichenbachiana*.

Naopak nově zaznamenané druhy (změna frekvence +100 %):

Acer campestre, *Alliaria petiolata*, *Artemisia absinthium*, *Calystegia sepium*, *Convallaria majalis*, *Cornus sanguinea*, *Galium odoratum*, *Galium verum*, *Linaria vulgaris*, *Lolium perenne*, *Polygonum aviculare*, *Potentilla incana*, *Sorbus torminalis*, *Tanacetum vulgare*, *Trifolium repens*.

Tabulka 9: Frekvenční analýza zastoupení taxonů cévnatých rostlin ve fytocenologických snímcích, porovnávající pomocí C indexu změnu v procentuálním zastoupení taxonů (viz rovnice 1 na straně 27). Hist = procentuální zastoupení taxonů v historických snímcích; Souč = procentuální zastoupení taxonů v současných snímcích; C % = Numerická hodnota C indexu, vyjadřující směr frekvenční změny (záporné hodnoty značí úbytek taxonů, kladné hodnoty přibývání taxonů) a míru její intenzity (C index má rozpětí hodnot <-100%;100%>).

Druhy	Hist	Souč	C %	Druhy	Hist	Souč	C %	Druhy	Hist	Souč	C %
<i>Acer pseudoplatanus</i>	12	1	-92	<i>Festuca ovina</i>	27	15	-44	<i>Calamagrostis canescens</i>	6	6	0
<i>Athyrium filix-femina</i>	9	1	-89	<i>Dryopteris carthusiana</i>	28	16	-43	<i>Melica nutans</i>	4	4	0
<i>Dryopteris dilatata</i>	9	1	-89	<i>Alnus glutinosa</i>	7	4	-43	<i>Prunus avium</i>	4	4	0
<i>Genista tinctoria</i>	9	1	-89	<i>Mycelis muralis</i>	21	12	-43	<i>Potentilla erecta</i>	3	3	0
<i>Dianthus carthusianorum</i>	7	1	-86	<i>Luzula pilosa</i>	21	12	-43	<i>Tilia cordata</i>	3	3	0
<i>Deschampsia cespitosa</i>	7	1	-86	<i>Vaccinium myrtillus</i>	36	21	-42	<i>Leucobryum glaucum</i>	3	3	0
<i>Carex digitata</i>	6	1	-83	<i>Ceratodon purpureus</i>	12	7	-42	<i>Solidago virgaurea</i>	1	1	0
<i>Hylocomium splendens</i>	6	1	-83	<i>Carex brizoides</i>	12	7	-42	<i>Hieracium cymosum</i>	1	1	0
<i>Carex leporina</i>	6	1	-83	<i>Larix decidua</i>	12	7	-42	<i>Thymus pulegioides</i>	1	1	0
<i>Prenanthes purpurea</i>	6	1	-83	<i>Senecio ovatus</i>	27	16	-41	<i>Fraxinus excelsior</i>	1	1	0
<i>Campanula persicifolia</i>	6	1	-83	<i>Rumex acetosella s.lat.</i>	27	16	-41	<i>Robinia pseudacacia</i>	1	1	0
<i>Cytisus nigricans</i>	16	4	-75	<i>Corylus avellana</i>	10	6	-40	<i>Quercus robur</i>	1	1	0
<i>Sambucus racemosa</i>	16	4	-75	<i>Calluna vulgaris</i>	10	6	-40	<i>Hieracium diaphanoides</i>	1	1	0
<i>Agrostis canina</i>	4	1	-75	<i>Carpinus betulus</i>	43	27	-37	<i>Molinia arundinacea</i>	1	1	0
<i>Sorbus aria</i>	4	1	-75	<i>Sorbus aucuparia</i>	63	40	-37	<i>Koeleria pyramidata auct.</i>	1	1	0
<i>Vincetoxicum hirsutinaria</i>	4	1	-75	<i>Pleurozium schreberi</i>	42	27	-36	<i>Galium rotundifolium</i>	1	1	0
<i>Achillea millefolium</i>	4	1	-75	<i>Pohlia nutans</i>	61	40	-34	<i>Geranium palustre</i>	1	1	0
<i>Rubus canescens</i>	4	1	-75	<i>Oxalis acetosella</i>	27	18	-33	<i>Galeopsis ladanum</i>	1	1	0
<i>Dryopteris filix-mas</i>	15	4	-73	<i>Hieracium sabaudum</i>	9	6	-33	<i>Poa pratensis agg.</i>	1	1	0
<i>Poa nemoralis</i>	21	6	-71	<i>Calamagrostis epigejos</i>	9	6	-33	<i>Veronica dillenii</i>	1	1	0
<i>Genista germanica</i>	10	3	-70	<i>Dicranum scoparium</i>	61	42	-31	<i>Circaea alpina</i>	1	1	0
<i>Melampyrum pratense</i>	12	4	-67	<i>Asplenium septentrionale</i>	10	7	-30	<i>Lotus corniculatus</i>	1	1	0
<i>Urtica dioica</i>	9	3	-67	<i>Fagus sylvatica</i>	31	22	-29	<i>Sedum rupestre</i>	1	1	0
<i>Avenula pratensis</i>	3	1	-67	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	22	16	-27	<i>Lysimachia nummularia</i>	1	1	0
<i>Carex pilulifera</i>	3	1	-67	<i>Galeopsis species</i>	4	3	-25	<i>Avenella flexuosa</i>	81	82	1
<i>Festuca brevipila</i>	3	1	-67	<i>Scirpus sylvaticus</i>	4	3	-25	<i>Picea abies</i>	33	34	3
<i>Anemone nemorosa</i>	3	1	-67	<i>Sphagnum species</i>	4	3	-25	<i>Betula pubescens</i>	6	7	14
<i>Polygonatum odoratum</i>	3	1	-67	<i>Aurinia saxatilis</i>	4	3	-25	<i>Cardaminopsis arenosa</i>	7	9	22
<i>Carex remota</i>	3	1	-67	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	4	3	-25	<i>Hieracium pilosella</i>	16	21	24
<i>Cardaminopsis petraea</i>	3	1	-67	<i>Agrostis capillaris</i>	13	10	-23	<i>Equisetum palustre</i>	3	4	25
<i>Galium palustre</i>	3	1	-67	<i>Parmelia saxatilis</i>	13	10	-23	<i>Viscum album s.lat.</i>	3	4	25
<i>Cerastium arvense</i>	3	1	-67	<i>Abies alba</i>	48	37	-23	<i>Geranium robertianum</i>	3	4	25
<i>Myosotis species</i>	3	1	-67	<i>Silene nutans s.lat.</i>	19	15	-21	<i>Senecio sylvaticus</i>	3	4	25
<i>Impatiens noli-tangere</i>	3	1	-67	<i>Hieracium murorum</i>	52	42	-19	<i>Rosa species</i>	9	12	25
<i>Jovibarba globifera</i>	3	1	-67	<i>Viola riviniana</i>	12	10	-17	<i>Crataegus species</i>	6	9	33
<i>Populus tremula</i>	10	4	-60	<i>Equisetum sylvaticum</i>	7	6	-14	<i>Hypericum perforatum</i>	6	9	33
<i>Dicranum polysetum</i>	22	9	-59	<i>Rubus fruticosus agg.</i>	15	13	-13	<i>Senecio viscosus</i>	6	13	54
<i>Rubus idaeus</i>	31	13	-58	<i>Hypnum cupressiforme</i>	34	33	-3	<i>Hieracium lachenalii</i>	4	9	56
<i>Luzula luzuloides</i>	28	12	-57	<i>Polytrichum species</i>	40	39	-3	<i>Euphorbia cyparissias</i>	4	10	60
<i>Juncus effusus</i>	7	3	-57	<i>Pinus sylvestris</i>	87	85	-2	<i>Scleranthus perennis</i>	1	3	67
<i>Epilobium angustifolium</i>	21	9	-57	<i>Quercus petraea</i>	70	69	-1	<i>Festuca pallens s.lat.</i>	1	3	67
<i>Frangula alnus</i>	16	7	-56	<i>Hieracium schmidtii</i>	15	15	0	<i>Carex panicea</i>	1	3	67
<i>Veronica officinalis</i>	19	9	-53	<i>Fragaria vesca</i>	15	15	0	<i>Hepatica nobilis</i>	1	3	67
<i>Campanula rotundifolia</i>	19	9	-53	<i>Impatiens parviflora</i>	7	7	0	<i>Luzula campestris</i>	1	3	67
<i>Lysimachia vulgaris</i>	6	3	-50	<i>Lychnis viscaria</i>	7	7	0	<i>Galeopsis pubescens</i>	3	9	67
<i>Sorbus aria agg.</i>	6	3	-50	<i>Moehringia trinervia</i>	7	7	0	<i>Carex echinata</i>	1	4	75
<i>Betula pendula</i>	73	39	-47	<i>Maianthemum bifolium</i>	7	7	0	<i>Luzula divulgata</i>	1	7	86

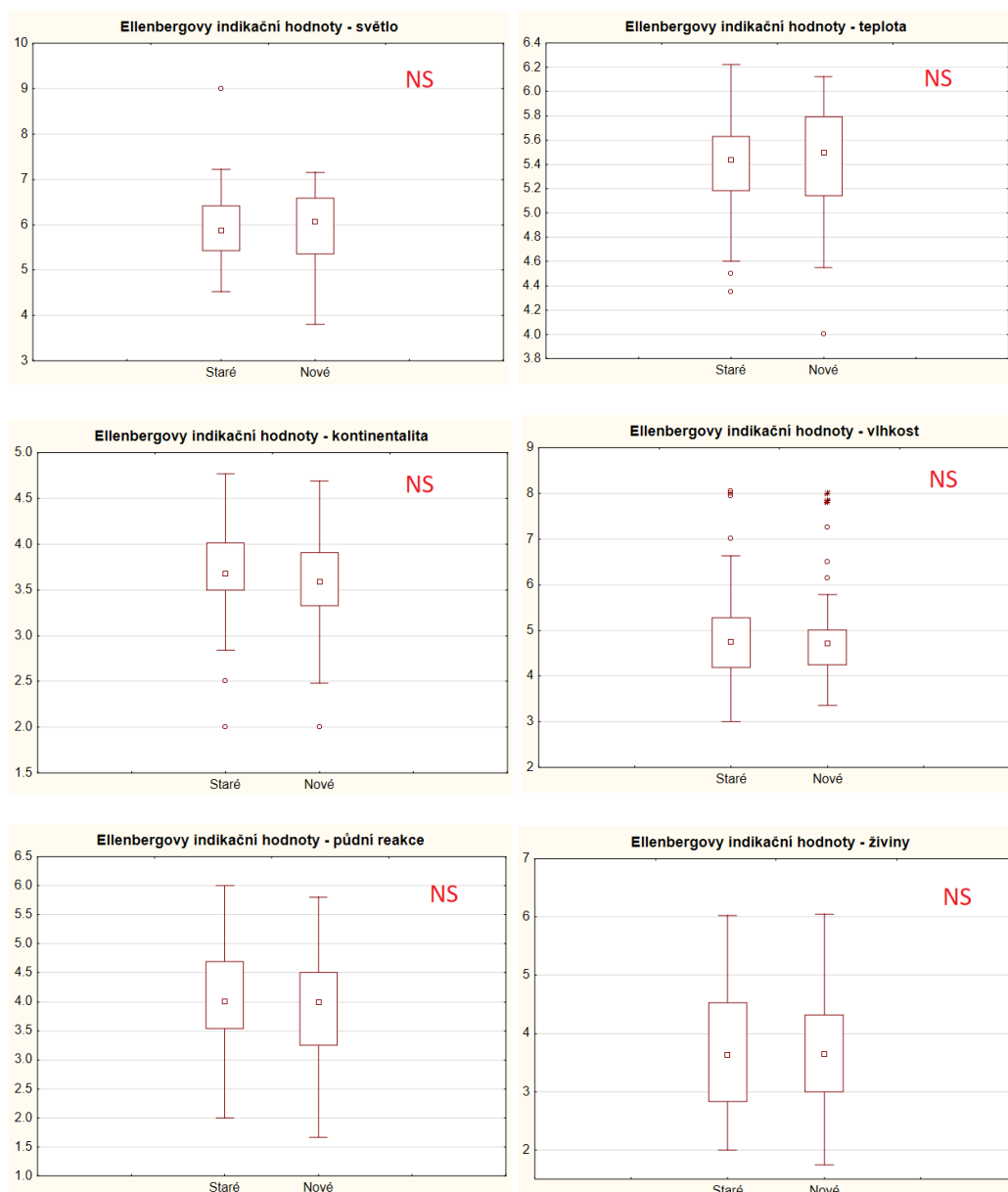
Z tabulky 9 je patrné, že k razantnímu úbytku došlo u některých dřevin (např. *Acer pseudoplatanus*, *Populus tremula*, *Betula pendula* nebo *Abies alba*) ale i u bylin (např. *Dryopteris filix-mas*, *Melampyrum pratense*, *Cytisus nigricans*)

Tabulka 10: Průměrné hodnoty ESI indexu – ekologické amplitudy druhu počítané pro tři vyhraněné skupiny taxonů rostlin podle intenzity frekvenční změny ve fytocenologických snímcích:

Skupina rostlin podle průměrného ESI indexu	Hodnota
Druhy s výrazným úbytkem	4,49
Druhy nově se objevující	4,46
Druhy s malou změnou	4,46

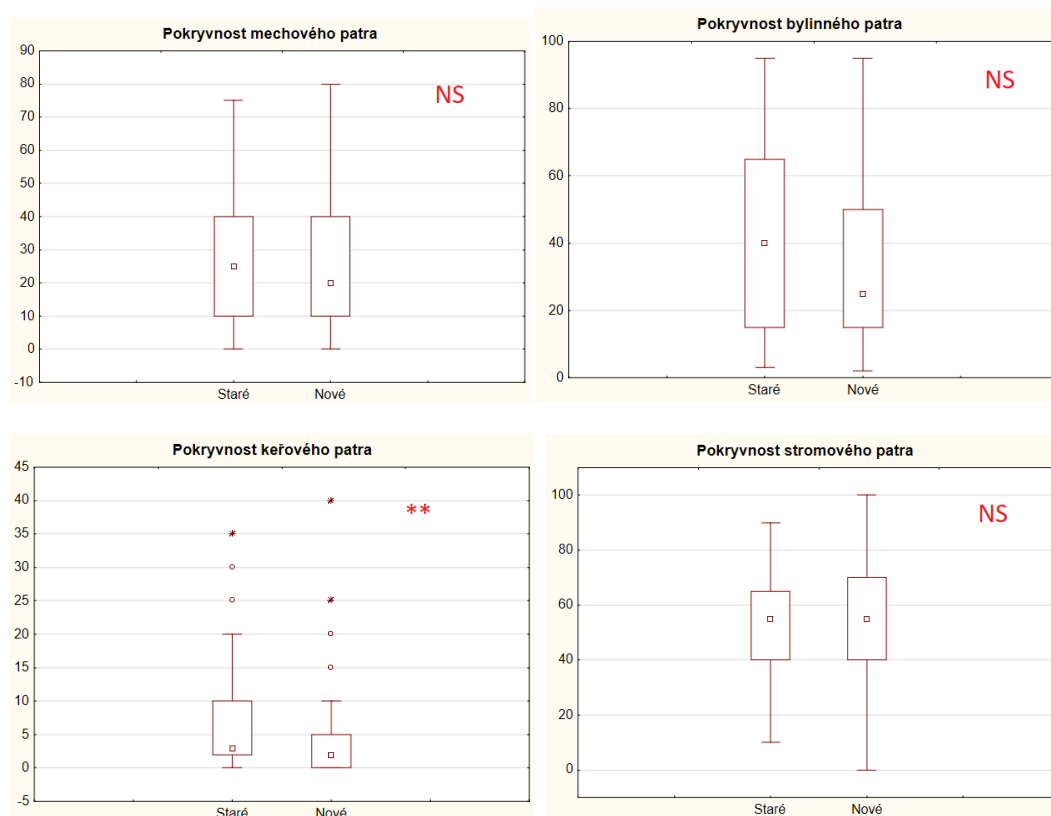
Z tabulky 10 je zřejmé, že z pohledu indexu ekologické specializace není mezi třemi skupinami taxonů, lišícími se intenzitou frekvenční změny, žádný signifikantní rozdíl.

6.2 Jednorozměrné analýzy



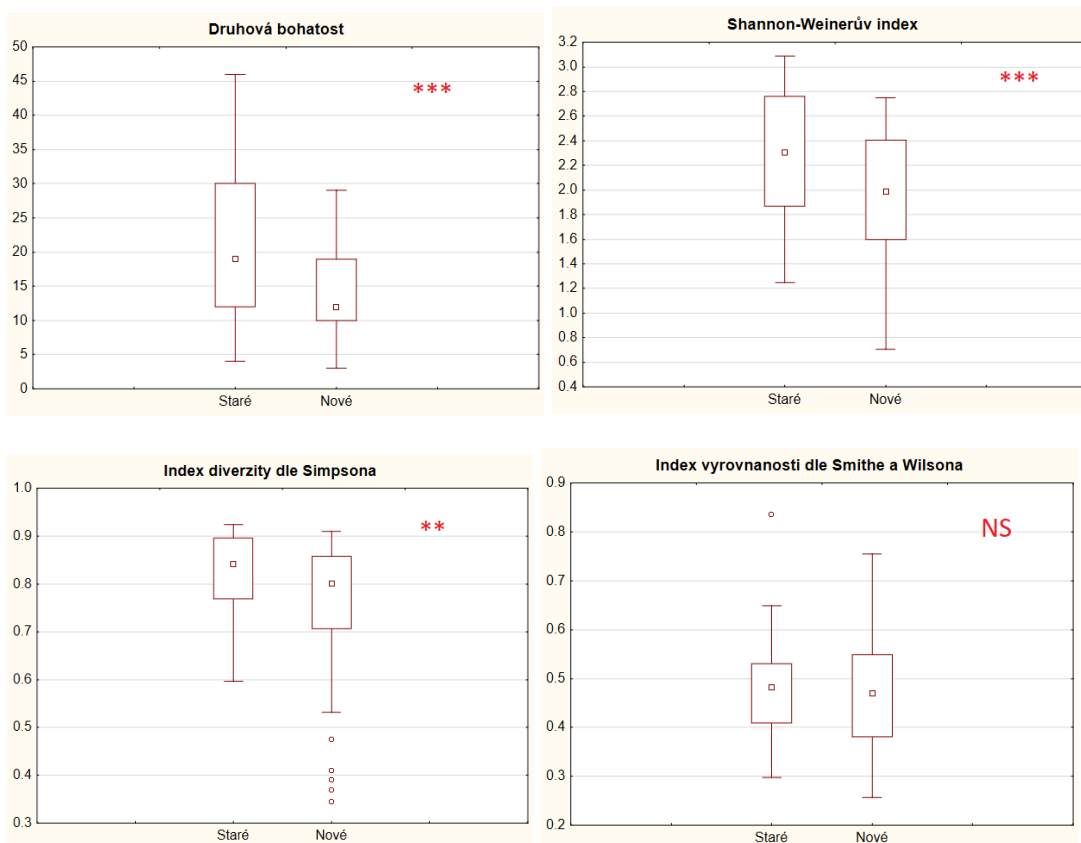
Obrázek 1: Porovnání Ellenbergových indikačních hodnot v souborech historických a současných snímků. Hodnoty p viz souhrnná tabulka 11 na str. 39. Vysvětlivky symbolů viz Metodika (str. 30). Na osách y jsou Ellenbergovy indikační hodnoty.

Na obrázku 1 vyšlo porovnání ve všech případech jako nesignifikantní. To znamená, že v sadách historických a současných snímků nebyl z hlediska statistiky shledán rozdíl. Přesto lze vysledovat náznak vzrůstajícího trendu v případě hodnot pro světlo a teplotu a klesající trend hodnoty kontinentality.



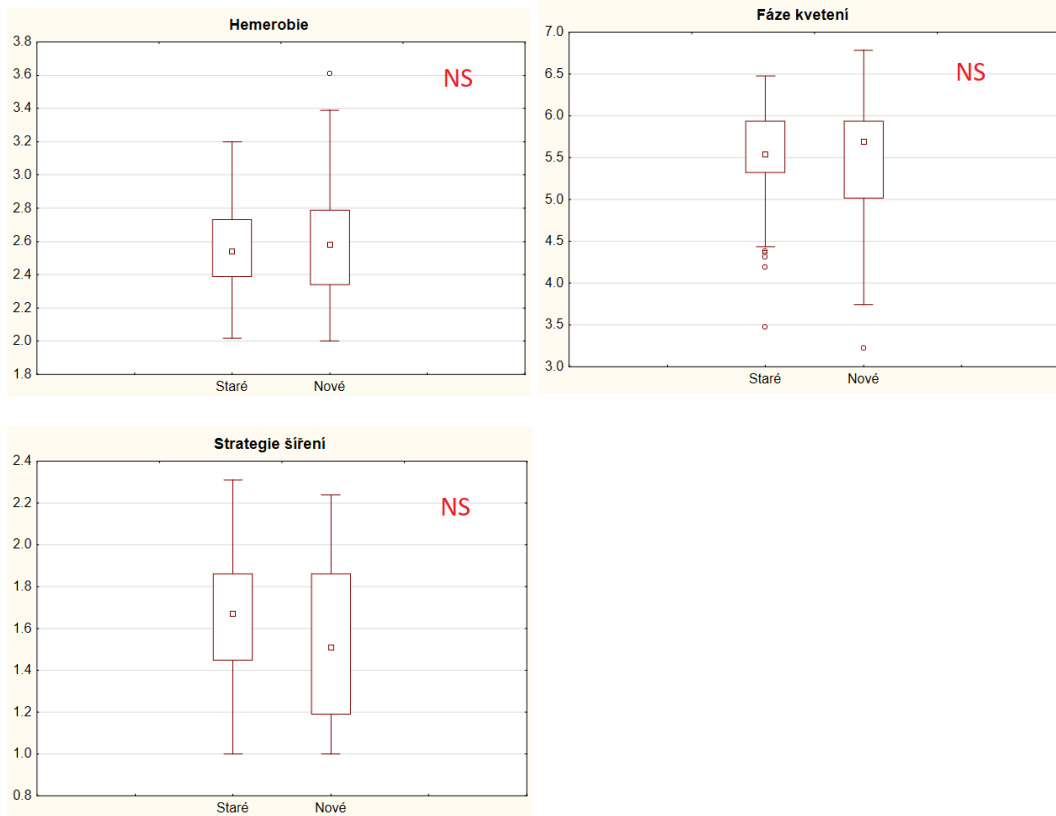
Obrázek 2: Porovnání pokryvností jednotlivých pater v souborech starých a nových snímků. Hodnoty p viz souhrnná tabulka 11 na str. 39. Vysvětlivky symbolů viz Metodika (str. 30). Na osách y jsou procentické číslice.

Porovnání pokryvností jednotlivých pater na obrázku 2 vyšlo s výjimkou keřového patra jako nesignifikantní. Za zmínku stojí, že s případě bylinného patra byla hodnota p na hranici statistické významnosti a tím pádem lze změnu pokryvnosti bylinného patra pokládat za marginálně (tj. okrajově) signifikantní. V případě keřového patra nastal ve vegetaci statisticky průkazný pokles celkové pokryvnosti keřů.



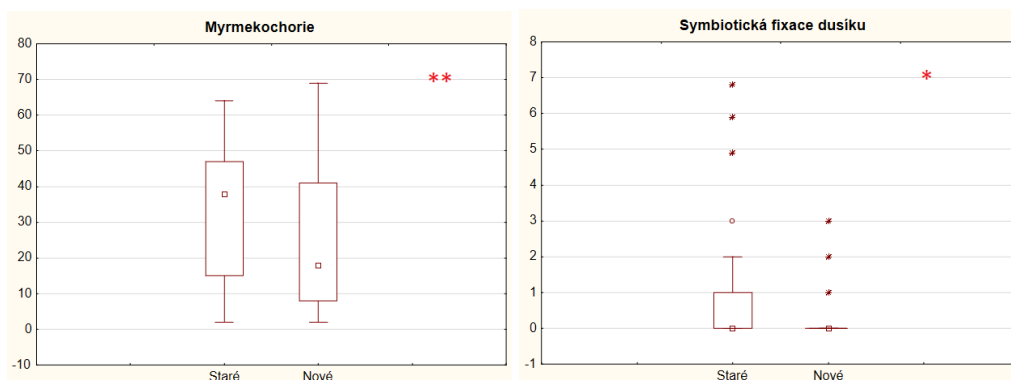
Obrázek 3: Porovnání několika parametrů kvantifikujících druhovou bohatost v souborech historických a současných snímků. Hodnoty p viz souhrnná tabulka 11 na str. 39. Vysvětlivky symbolů viz Metodika (str. 30). Na osách y jsou bezrozměrné hodnoty jednotlivých indexů.

V případě druhové bohatosti (bez ohledu na její kvantifikaci ve formě druhové denzity nebo standardních indexů diverzity) pozorujeme výraznou odlišnost sady historických a současných snímků (Obrázek 3). Je patrný úbytek rozmanitosti taxonů v nových snímcích, ovšem parametr druhové vyrovnanosti nedoznal signifikantní změny



Obrázek 4: Porovnání hodnot hemerobie, fenologie a strategie šíření v souborech historických a současných snímků. Hodnoty p viz souhrnná tabulka 11 na str. 39. Vysvětlivky symbolů viz Metodika (str. 30). Na osách y jsou bezrozměrná rozpětí pro jednotlivé parametry biologických vlastností (jejich slovní hodnocení viz tabulky 4–6 na str. 29–30).

Porovnáním stupně hemerobie, fenologické fáze a intenzity vegetativní/generativní reprodukce taxonů v souborech historických a současných snímků (Obrázek 4) nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly v těchto důležitých průměrných biologických vlastnostech charakterizujících zkoumaná společenstva křivoklátských lesů. U strategie šíření je pozorovatelný slabý klesající trend, který ukazuje na přibývání druhů preferujících šíření semeny na úkor vegetativně se rozmnožujících.



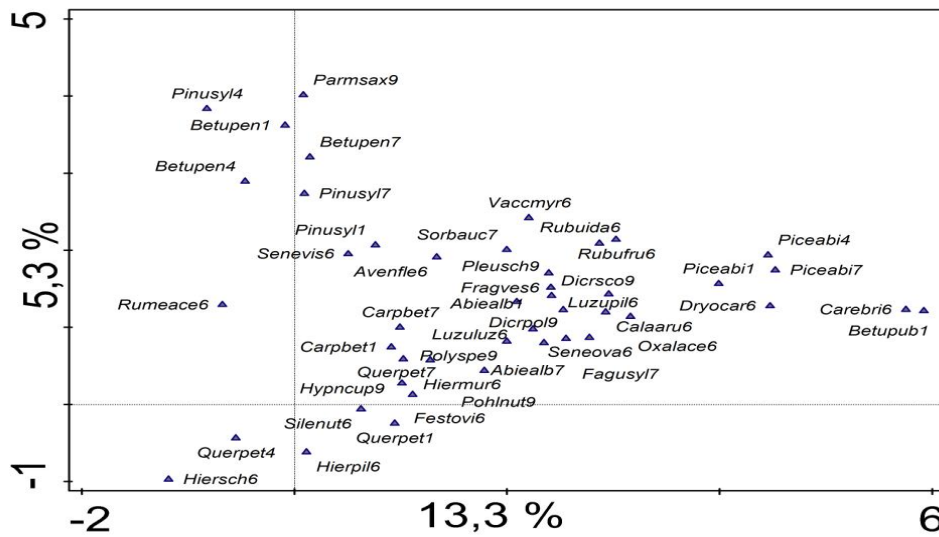
Obrázek 5: Porovnání hodnot průměrné adaptace zastoupených rostlinných druhů k myrmekochorii a průměrné symbiotické fixace dusíku zkoumaných lesních společenstev v souborech historických a současných snímků. Hodnoty p viz souhrnná tabulka 11 na str. 39. Vysvětlivky symbolů viz Metodika (str. 30).

V případě průměrné adaptace k myrmekochorii (tedy šíření semen rostlinných druhů převážně mravenci; Obrázek 5) byl zjištěn relativně významný statistický posun ve snímkových souborech: došlo k poklesu druhů adaptovaných k myrmekochorii. Významný rozdíl byl zjištěn i v případě procentuálního zastoupení rostlinných druhů z čeledi *Fabaceae*.

Tabulka 11: Souhrnná tabulka statistických výsledků neparametrického Mann-Whitneyova U-testu použitých pro vyhodnocení grafů na obrázcích 1–5. Vysvětlení kódů proměnných v prvním sloupci viz tabulka 8.

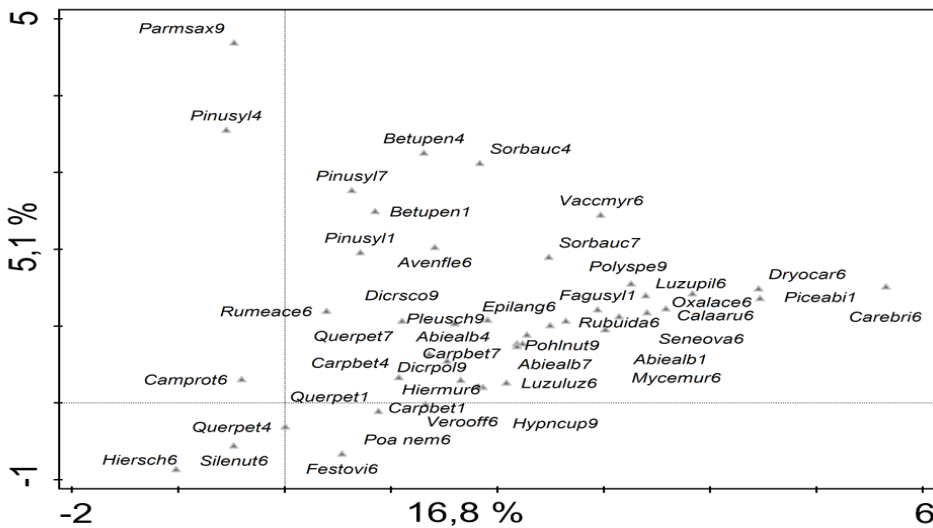
Proměnná	Označené testy jsou významné na hladině $p < .05000$			
	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.
dusík	1.64201	0.100589	2.31293	0.020727
cov_e3	-1.11025	0.266894	-1.11521	0.264760
cov_e2	2.91468	0.003561	2.95178	0.003160
cov_e1	1.90233	0.057129	1.90740	0.056470
cov_e0	-0.32707	0.743618	-0.32817	0.742786
E_light	-0.42302	0.672284	-0.42305	0.672262
E_temp	-0.88904	0.373980	-0.88973	0.373611
E_cont	1.50629	0.131995	1.50650	0.131941
E_moist	0.44373	0.657237	0.44391	0.657109
E_react	0.88330	0.377074	0.88356	0.376934
E_nutr	0.13350	0.893801	0.13363	0.893696
nr_sp	3.80020	0.000145	3.80685	0.000141
Shannon	3.43309	0.000597	3.43311	0.000597
Simpson	2.86350	0.004190	2.86351	0.004190
S-W	0.36267	0.716855	0.36267	0.716854
fenologie	0.08677	0.930852	0.08678	0.930846
hemerob	-0.58739	0.556946	-0.58748	0.556882
typ rep	1.52631	0.126933	1.52666	0.126847
myrmek	3.06375	0.002186	3.06639	0.002167

6.3 Mnohorozměrné analýzy



Obrázek 6: Ordinační diagram nepřímé analýzy PCA současných fytoocenologických snímků s použitím všech taxonů. Plné znění odborných názvů rostlin použitých v diagramu v podobě zkratk viz tabulka 9.

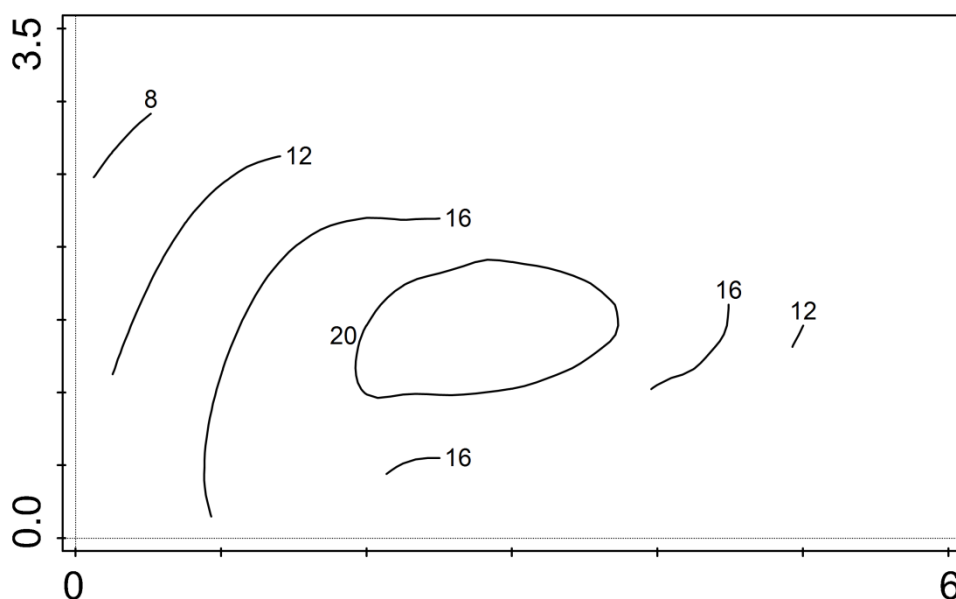
Osa x na obrázku 6 je gradientem vlhkosti, zleva doprava od suchomilnějších po vlhkomilně druhy. Osa x vysvětluje 13,3% variability, osa y 5,3% variability.



Obrázek 7: Ordinační diagram nepřímé analýzy PCA historických fytoocenologických snímků s použitím všech taxonů. Plné znění odborných názvů rostlin použitých v diagramu v podobě zkratk viz tabulka 9.

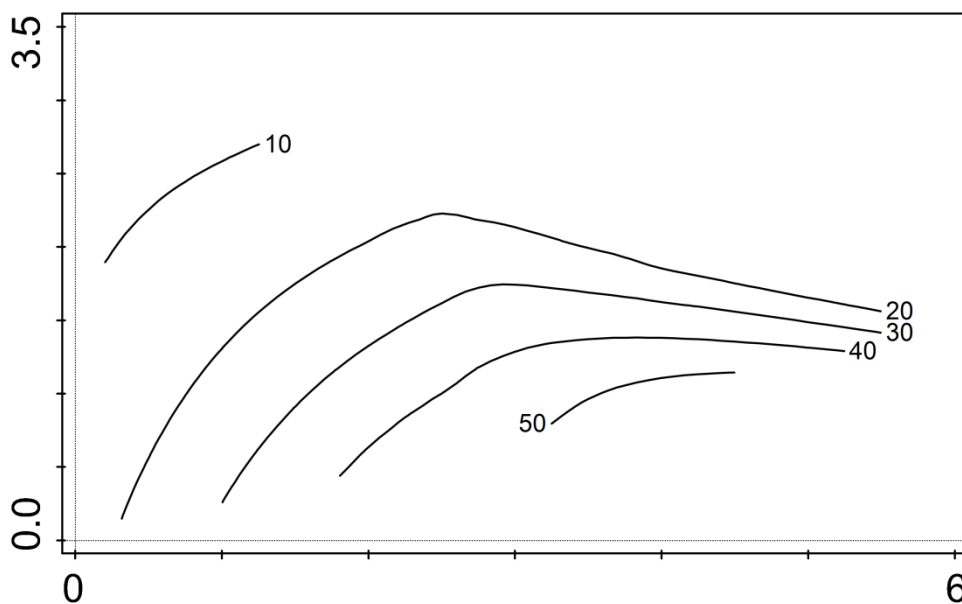
Podél osy x na obrázku 7, vyjadřující hlavní floristický gradient ve zkoumané vegetaci, se v levé části ordinačního prostoru nacházejí druhy suchomilné a v pravé části druhy vlhkomilné. Osa x tedy reprezentuje gradient vlhkosti. Osa y reprezentuje

kombinovaný gradient pro vlhkost a hloubku půdy. Ve spodní části ordinačního prostoru se nacházejí taxony preferující hlubší půdy, v horní části tohoto prostoru taxony, které jsou adaptovány k růstu na mělkých nevyvinutých půdách (např. na litozemích). Osa x vysvětluje 16,8 % celkové variability druhových dat, osa y poté 5,1% této variability.



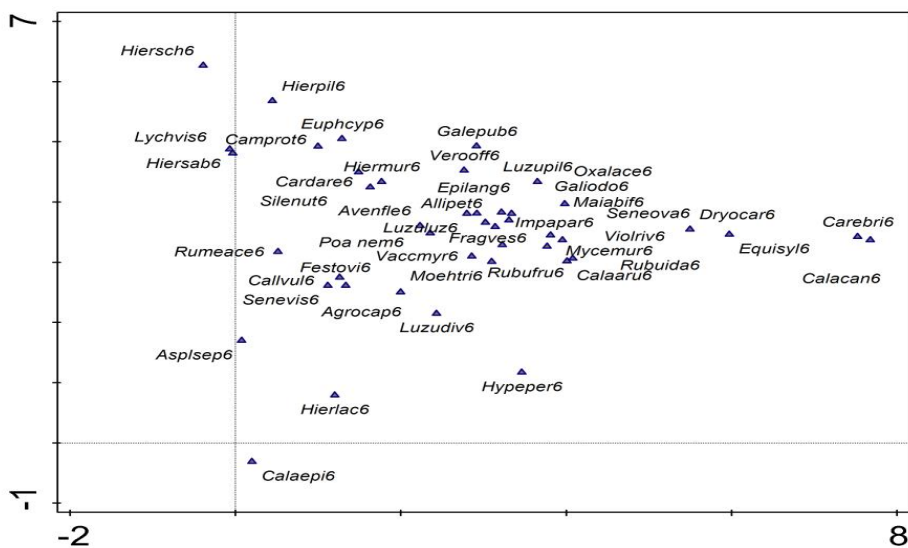
Obrázek 8: Atributový diagram znázorňující statisticky modelované rozložení druhové bohatosti v souboru současných snímků. Ordinační prostor odpovídá obrázku 6.

Na obrázku 8 se nejbohatší snímky se nacházejí uprostřed diagramu, k okrajům diagramu bohatost snímků klesá.



Obrázek 9: Atributový diagram znázorňující statisticky modelované rozložení druhové bohatosti v souboru historických snímků. Ordinační prostor odpovídá obrázku 7.

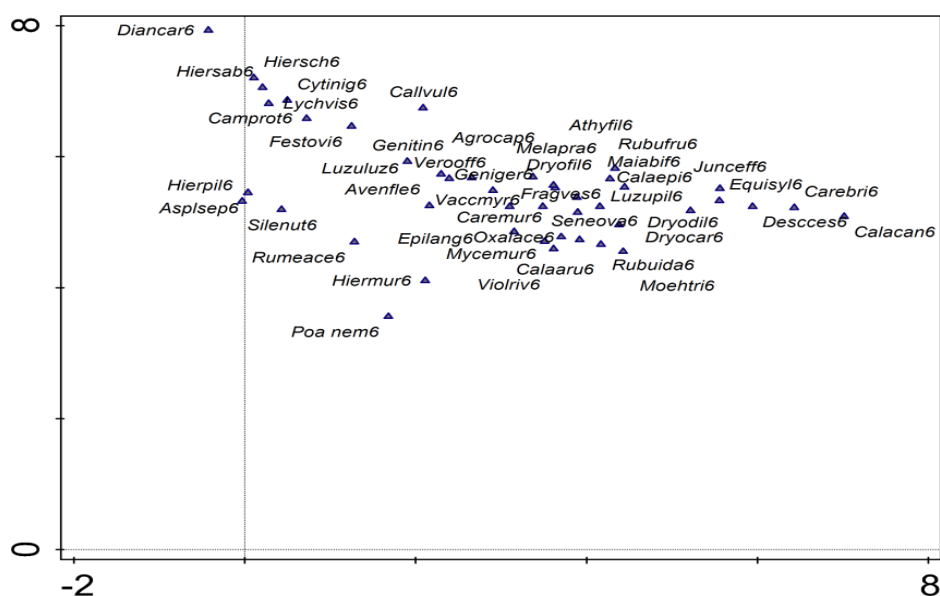
Na atributovém diagramu (obrázek 9) se druhově bohaté snímky nacházejí vpravo dole, naopak chudé snímky vlevo nahoře.



Obrázek 10: Ordinační diagram analýzy DCA současných fytoocenologických snímků. Použity jsou pouze taxony bylinných druhů. Plné znění odborných názvů rostlin použitých v diagramu v podobě zkratk viz tabulka 9.

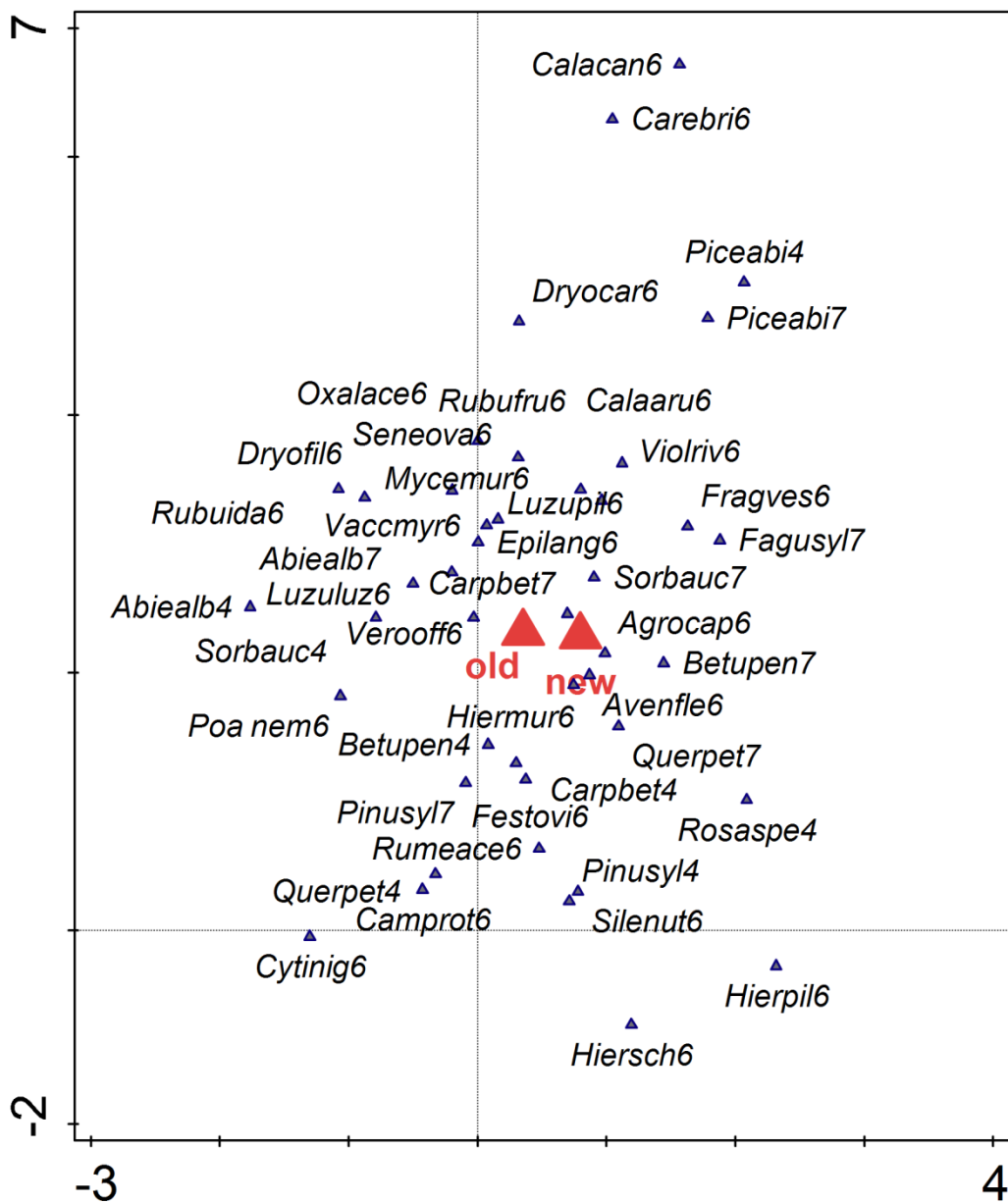
Osa x na obrázku 10 vyjadřuje hlavní floristický gradient ve zkoumané vegetaci. Podél této osy se v levé části ordinačního prostoru nacházejí druhy suchomilné a v pravé části druhy vlhkomilné. Osa x tedy reprezentuje gradient

vlhkosti. Osa y vyjadřuje mocnost humusového horizontu, kdy ve spodní části ordinačního prostoru jsou taxony vyhledávající hlubší bohatší půdy a v horní části se nacházejí taxony adaptované na mělké vysýchavé a nedovyvinuté půdy (rankery a litosoly). Osa x vysvětluje 13,3 % celkové variability druhových dat, osa y poté 5,3 % této variability.



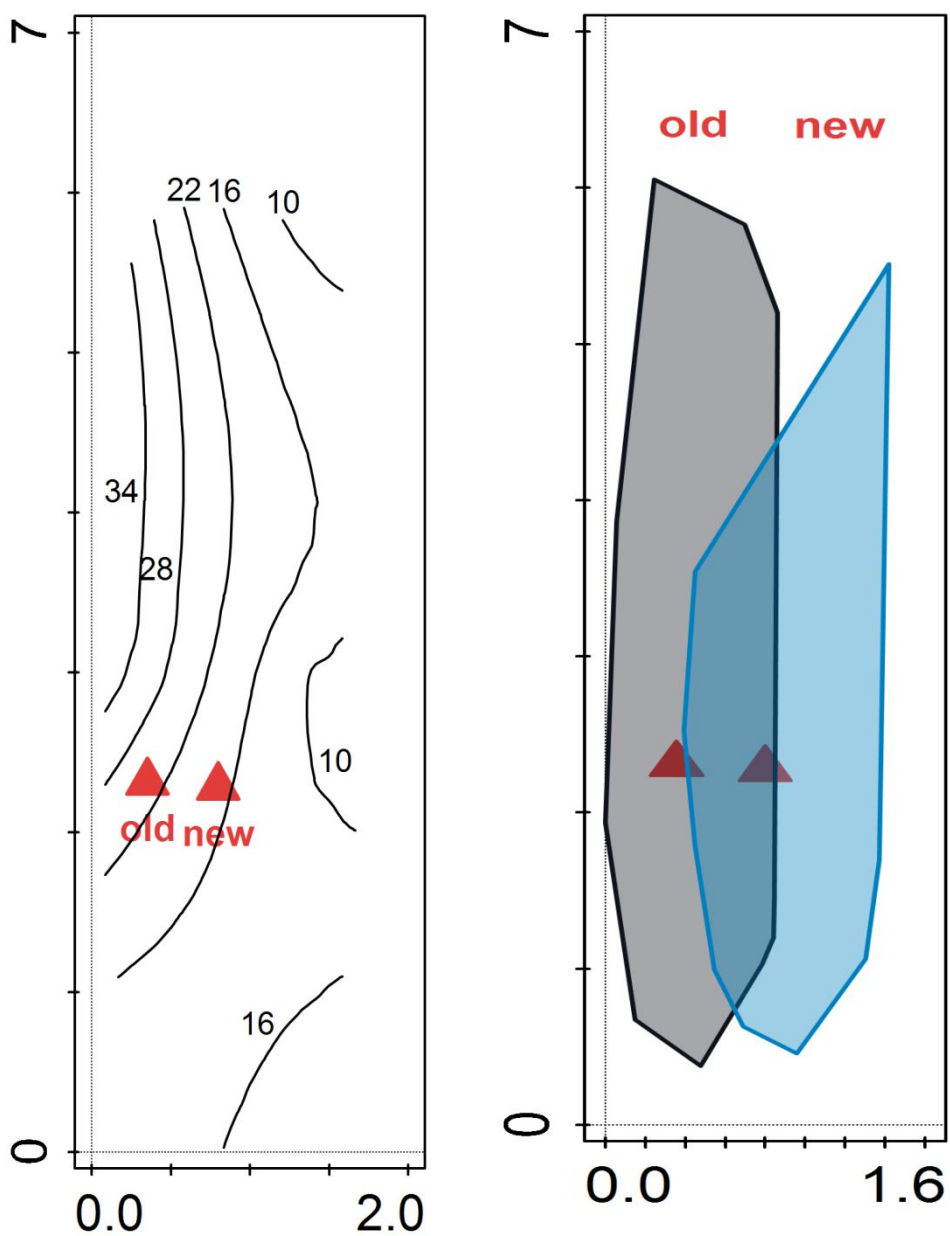
Obrázek 11: Ordinační diagram analýzy DCA historických fytocenologických snímků. Použity jsou pouze taxony bylinných druhů. Plné znění odborných názvů rostlin použitých v diagramu v podobě zkratk viz tabulka 9.

Podél osy x na obrázku 11 se v levé části ordinačního prostoru nacházejí druhy suchomilné a v pravé části druhy vlhkomilné. Osa x je tedy gradientem vlhkosti. Osa y je gradientem hloubky půdy. Ve spodní části ordinačního prostoru se nacházejí taxony preferující oligotrofní kambizemě, v horní části tohoto prostoru taxony, které jsou adaptovány k růstu na mělkých nevyvinutých půdách (např. na litozemích). Osa x vysvětluje 13,6 % celkové variability druhových dat, osa y poté 5,1 % této variability.



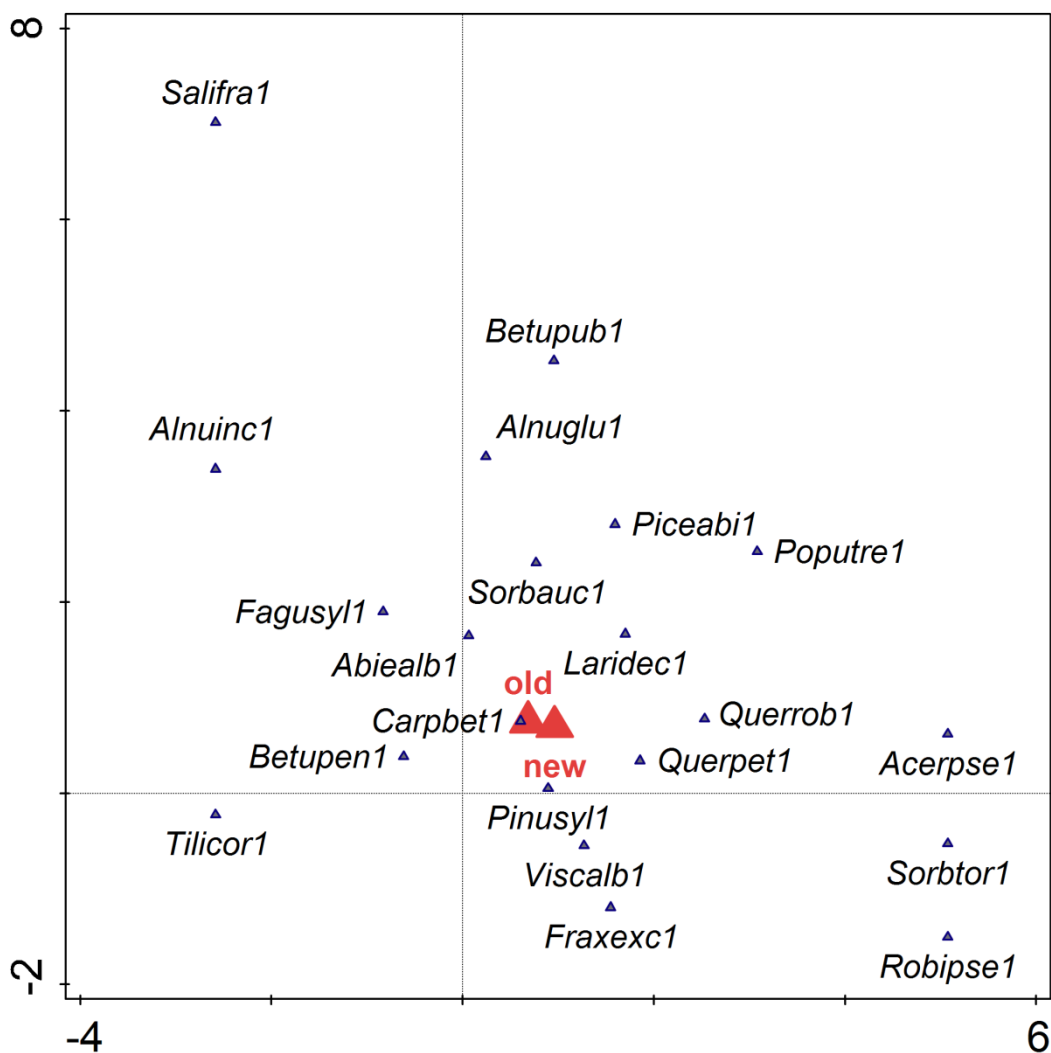
Obrázek 12: Přímá gradientová analýza DCCA hodnotící čistý vliv faktoru času na souhrnnou vegetační změnu ve snímkovém materiálu; použité byly taxony bylin, juvenilních dřevin a keřů.

Na obrázku 12 se nachází analýza čistého času, tedy jak se změnila vegetace porovnáním souborů snímků v současnosti a historických. Analýza DCCA nepřinesla žádný důkaz o změně. $p > 5\%$, tedy změna vegetace není statisticky průkazná.



Obrázek 13: Porovnání druhové bohatosti souborů historických a současných snímků z hlediska bylin, juvenilních dřevin a keřů. Vztahuje se k obrázku 13.

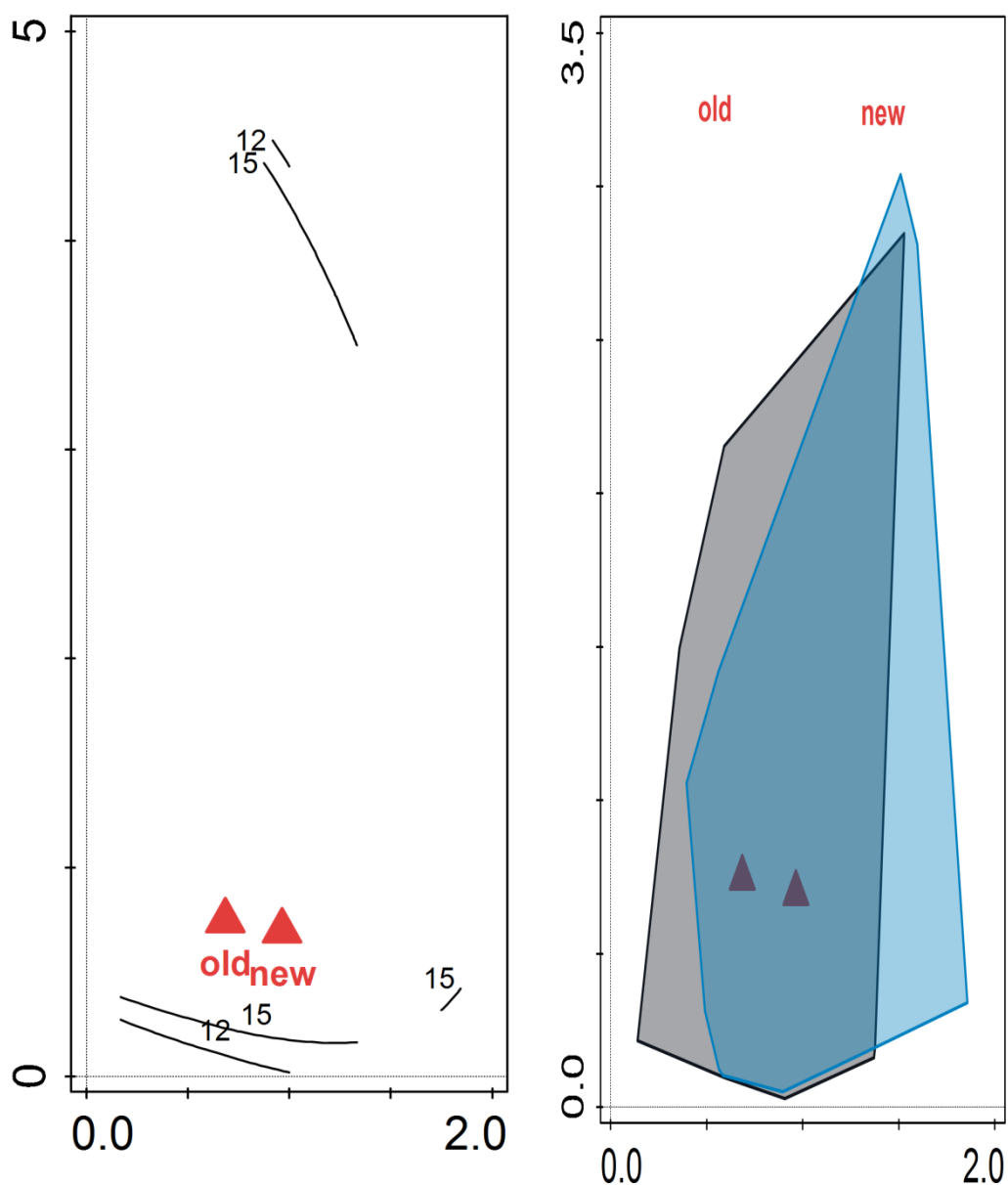
Z grafů na obrázku 13 je patrné, že starší snímky jsou o něco málo bohatší, ale výsledek není statisticky průkazný.



Obrázek 14: Přímá gradientová analýza DCCA hodnotící čistý vliv faktoru času na souhrnnou vegetační změnu ve snímkovém materiálu; použité byly pouze taxony dřevin.

Na obrázku 14 vidíme obdobnou analýzu jako na obrázku 12, zde jsou však použity pouze dřeviny. Hodnota $p=7,1\%$, což ještě spadá do zóny marginální (tj. okrajové) signifikance, tzn. můžeme změnu považovat ještě za slabě průkaznou. Taxony dřevin, jejichž počty narůstají, se nachází v pravé části ordinačního diagramu. To znamená, že přibývá *Populus tremula*, jakožto pionýrská dřevina obsazující volné plochy vzniklé například disturbancí. Dále byl zaznamenán zvýšený výskyt *Sorbus torminalis*, který je teplomilnou dřevinou. To může indikátorem změny vegetace, jakožto posun k teplomilnějším druhům. Další přibývající dřevinou je *Robinia pseudoaccacia* jakožto Křivoklátský invazivní druh. Naopak v levé části tohoto diagramu se nachází *Salix fragilis*, která vyhledává vodou dobře zásobené

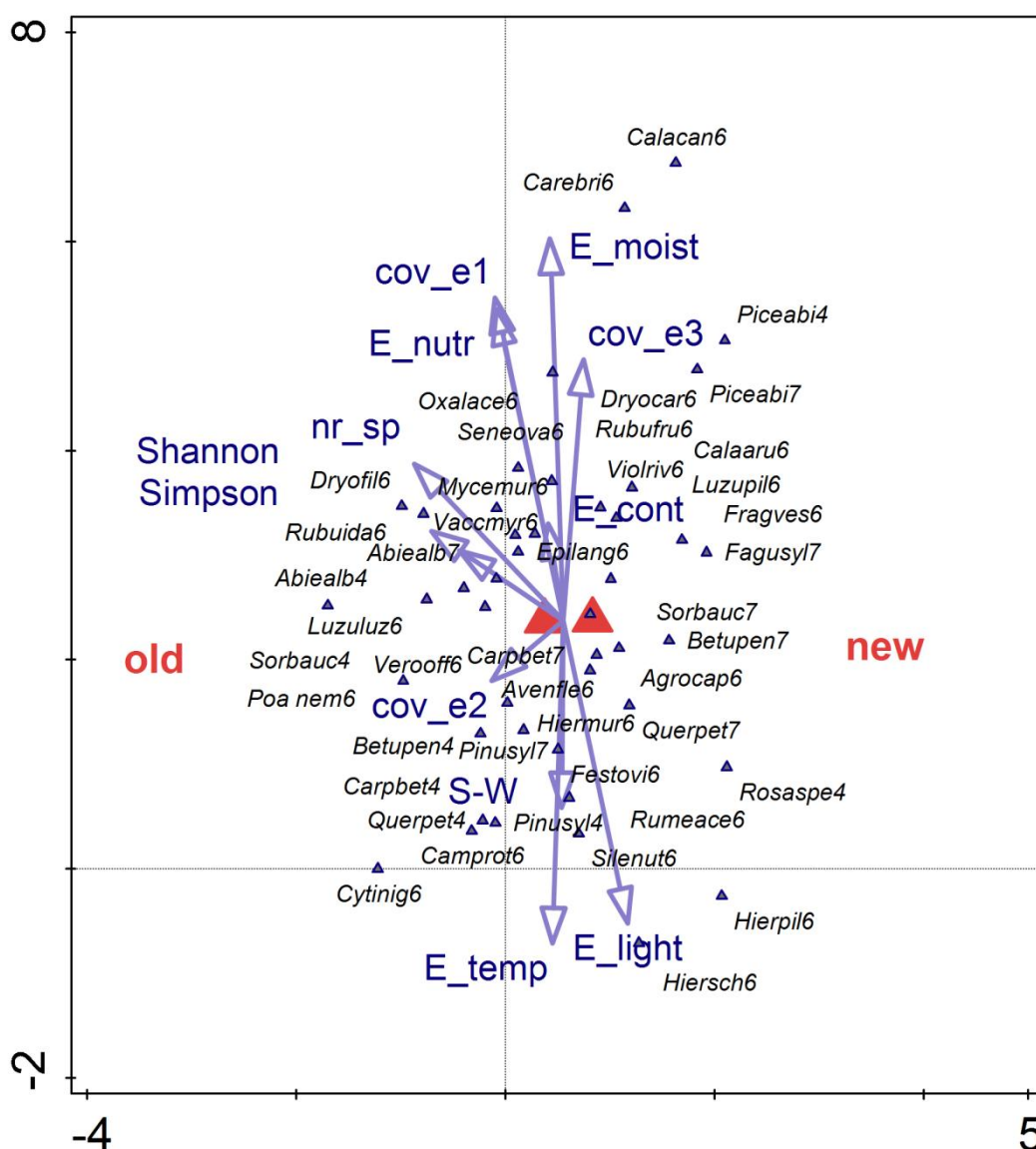
lokality a *Alnus incana*, taktéž vlhkomilná dřevina, navíc v současnosti stále ohroženější patogenem *Phytophthora alni*.



Obrázek 15: Porovnání druhové bohatosti souborů historických a současných snímků z hlediska dřevin. Vztahuje se k obrázku 14.

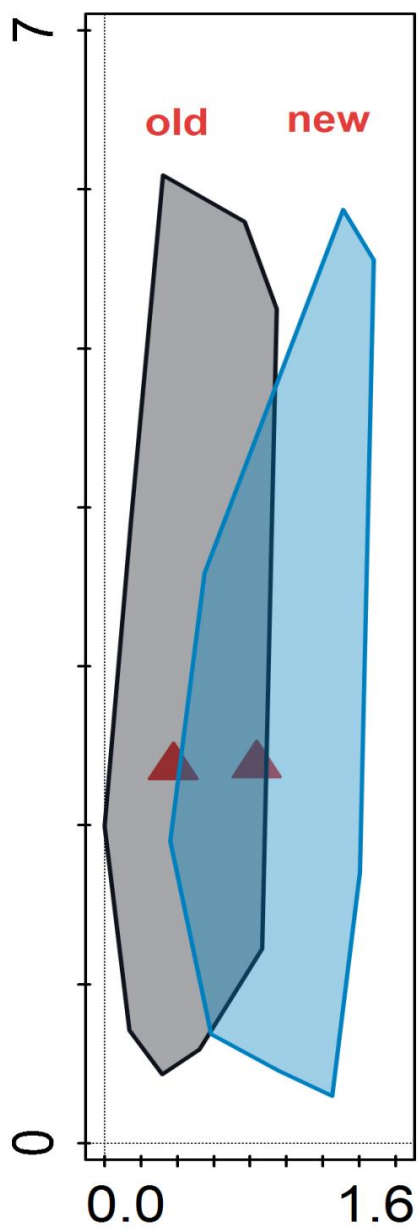
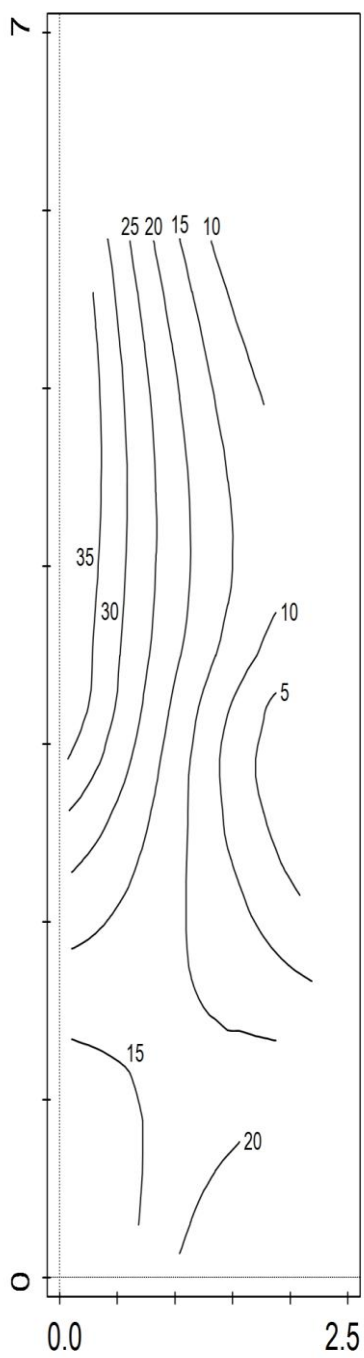
Z grafů na obrázku 15 je patrné, že starší snímky jsou o něco málo bohatší, ale výsledek není statisticky průkazný.

Test vlivu světla a tepla vyšel neprůkazně ($p=0,139$). To znamená, že světlo a teplo v těchto případech neovlivňují vegetaci signifikantně.

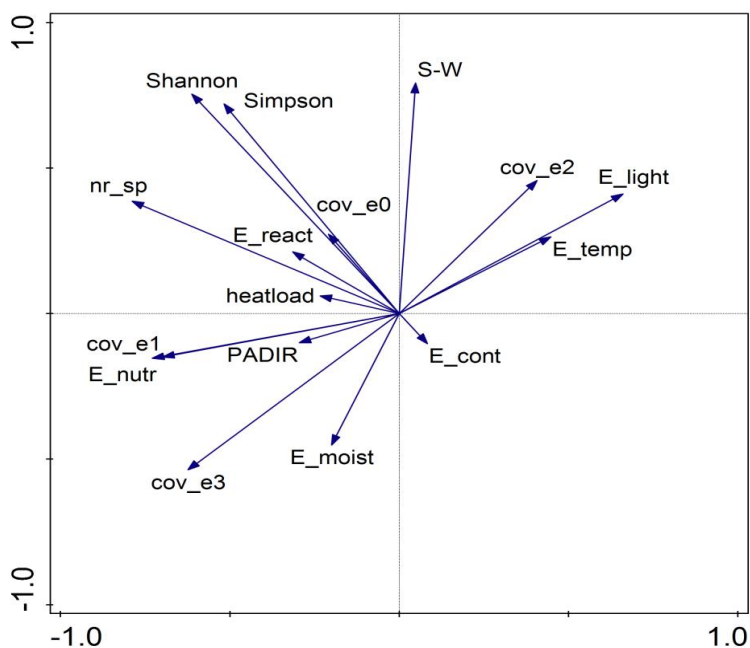


Obrázek 16: Přímá gradientová analýza DCCA hodnotící vliv času na souhrnnou vegetační změnu ve snímkovém materiálu historických a současných snímků. Za účelem lepšího vysvětlení souvislostí jsou do analýzy přidány doplňkové proměnné. Plné znění kódů proměnných je uvedeno v tabulce č.8.

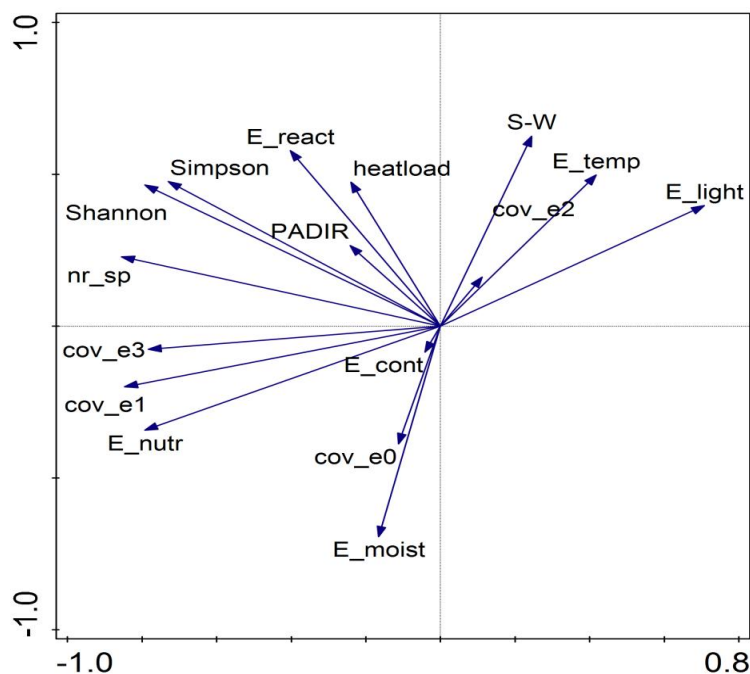
V diagramu na obrázku 16 jsou za účelem lepšího vysvětlení souvislostí přidány doplňkové proměnné (pokryvnosti jednotlivých pater, Ellenbergovy indikační hodnoty a indexy diverzity). Hodnota $p=0,205$, tudíž změna není statisticky průkazná. Podél osy x leží změna v čase a z toho je patrné, že největší změny se udály v pokryvnosti keřového patra a poté v indexech diverzity. Osa y s časem nekoreluje a proto šipky blíží se směrem ose y nemají vliv na změnu v čase.



Obrázek 157: Porovnání druhové bohatosti souborů historických a současných snímků vztahující se k obrázku 16.



Obrázek 18: Analýza hlavních komponent PCA zobrazující korelační vztahy použitých proměnných prostředí a odvozených proměnných odvozených z vegetačních dat v souboru současných snímků. Kódy proměnných viz tabulka 8 v metodice.



Obrázek 19: Analýza hlavních komponent PCA zobrazující korelační vztahy použitých proměnných prostředí a odvozených proměnných odvozených z vegetačních dat v souboru historických snímků. Kódy proměnných viz tabulka 8 v metodice.

Délka šipky grafu vyjadřuje rozsah hodnot proměnné. Z porovnání grafů (Obrázky 18 a 19) je patrná změna u pokryvnosti keřového patra, Shannon–Weinerova indexu a Simpsonova indexu, což odpovídá zjištěním vycházejícím z příslušných jednorozměrných porovnání zobrazených v krabicových grafech (na obrázcích 1–5).

7 Diskuze

Podle výsledků časové analýzy bylin, juvenilních dřevin a keřů se tato vegetace za sledovanou dobu signifikantně nezměnila. Je možné, že důvodem jsou testované lokality, kdy se jedná hlavně o reliktní, těžko přístupná stanoviště většinou patřící do kategorie ochranných lesů. Slabě signifikantní změna pokryvnosti stromového patra mohla být způsobena kombinací přírodních vlivů a lesnických zásahů. Podobná analýza provedená pomocí krabicových grafů pro každé patro zvláště ukázala rozdíly v pokryvnostech především v případě keřového patra. Medián pokryvností byl cca 4 % plochy snímku u historických snímků a 2 % plochy snímku v případě současných snímků. Z toho je patrný úbytek pokryvnostní plochy, ale zároveň je plocha, kterou keřové patro na snímcích průměrně zaujímá, velmi malá. Je to pravděpodobně způsobeno faktem, že studovanou vegetaci většinou představují poměrně staré a vyzrálé porosty bez přímé intervence člověka, takže keře nastupují jen lokálně na místo rozpadlého stromového patra.

Neprůkaznost ovlivnění vegetace intenzitou záření a tepelným požitkem je způsobena pravděpodobně geografii Křivoklátska, kdy se střídají rozbrázděná údolí se strmými kopci. Tento fenomén má za následek výraznější vliv zastínění horizontu u konkrétních lokalit fytoecologických snímků a použitá metodologie výpočtu těchto parametrů se tak pravděpodobně více odchyluje od reálných světelných a tepelných poměrů vegetace. Ellenbergovy indikační hodnoty pro světlo a teplotu nevykazují signifikantní rozdíl, přesto je u nich patrný slabý nárůst hodnot. Toto zjištění by mohlo ukazovat na začínající rostoucí trend hodnot do budoucnosti.

Co se týká diskutované eutrofizace lesů a výsledků několika dalších prací, kde autoři prokázali vliv depozice atmosférického dusíku a eutrofizace na posun vegetace směrem ke zvýšenému zastoupení rostlin náročnějších na živiny (Reinecke

et al. 2014, Thimonier et al. 1994), ve studovaných křivoklátských lesích se ovšem tento trend nepotvrdil. Porovnání Ellenbergových indikačních hodnot pro živiny neukázalo signifikantní změnu v čase. Statisticky průkazný výsledek porovnání historických a současných snímků z hlediska symbiotické fixace dusíku by mohl ukazovat na výrazný pokles výskytu druhů mající schopnost vázat vzdušný dusík. Ovšem zástupců čeledi *Fabaceae* bylo nalezeno ve snímcích poskrovnu a analýza nemá příliš vypovídající hodnotu.

Podle studie provedené v Německu (Wesche et al. 2012) klesla za 50 let druhová bohatost sledovaných ploch o 30–50% za současného zvýšení Ellenbergových indikačních hodnot pro živiny. To naznačuje změnu vegetace spíše z důvodu lokální změny dostupnosti živin než z důvodu nadregionální změny klimatu. V případě této studie na Křivoklátsku ale nebyla souvislost prokázána, neboť druhová bohatost poklesla, ačkoli Ellenbergovy indikační hodnoty pro živiny zůstaly signifikantně nezměněny.

V souhrnu druhová bohatost na sledovaných plochách klesla. Tento pokles může ukazovat na jistou vegetační změnu, ale také mohl být pokles druhové bohatosti způsoben nedostatečnou osobní botanickou odborností při sběru dat a nerozlišováním taxonomicky drobnějších taxonů. Každopádně dosažené výsledky jsou do určité míry obdobné jako v dalších studiích, které prokázaly homogenizaci vegetace v čase (Britton et al. 2009, Keith et al. 2009). Naopak lze nalézt příklady evropských studií, kde došlo ke zvýšení průměrného počtu taxonů ve fytoecologickém snímku lesní vegetace opadavého lesa mírného pásu (Verheyen et al. 2012). Autoři ale opět pokládají za důvod nárůstu druhů zejména zvýšené depozice atmosférického dusíku. Byl zjištěn kvalitativní posun v zastoupení bylinných druhů v lesní vegetaci směrem k taxonům odolnějším vůči stínu a také náročnějším na dostupné živiny v půdě.

Výsledek této práce ukázal oproti minulosti masivní úbytek jedle bělokoré (*Abies alba*). V lokalitách, kde před 40 lety rostl prakticky čistý jedlový les, bylo zaznamenáno jen několik posledních přežívajících jedinců. Lze tedy vyslovit názor, že jedle z Křivoklátska za posledních několik desetiletí rapidně ustoupila. Zdravé vitální porosty byly ve vegetaci spíše výjimkou. Toto zjištění je zdánlivě v rozporu

se zjištěním, že druh *Abies alba* má širší ekologickou toleranci než bylo donedávna uváděno (Kozáková et al. 2011). Fytocenologický průzkum zaměřený na lesní porosty s jedlí bělokorou byl proveden i v pohoří Jura na rozhraní Švýcarska a Francie (Lenoir et al. 2010), kde došlo ke zvýšení ročních teplot při nezměněných průměrných ročních srážkách. Populace *Abies alba* se zde výrazně nezměnila, byla však prokázána zvyšující se frekvence druhů vázaných na nížiny ve vyšších nadmořských výškách než tomu bylo v souboru porovnávaných historických fytocenologických snímků. Tato skutečnost nebylo na Křivoklátsku pozorována.

8 Závěr

Při porovnání současných a historických snímků se nejzřetelněji projevil úbytek druhové bohatosti, který byl zaznamenán na většině lokalit. Pravděpodobně to koresponduje s dokumentovaným celosvětovým trendem taxonomické homogenizace vegetace.

Žádná signifikantní změna Ellenbergových indikačních hodnot nebyla zaznamenána a nebyla tak prokázána adaptace zkoumané vegetace na měnící se přímé i nepřímé faktory prostředí. Stejně tak nebyly prokázány rozdíly ve významných funkčních vlastnostech rostlin jako je hemerobie, fenologická fáze nebo způsob reprodukce. Pouze ve způsobu reprodukce byl pozorovatelný slabý, statisticky nevýznamný, klesající trend, který ukazuje na přibývání taxonů preferujících šíření semen na úkor těch převážně vegetativně se rozmnožujících.

Úbytek byl zaznamenán u potenciálně myrmekochorních druhů, čili druhů, které se přizpůsobily k rozšiřování svých semen za pomoci mravenců. V souborech historických a současných snímků byly porovnávány druhy, které jsou k tomuto šíření přizpůsobeny. Vzhledem k tomu, že se tyto rostliny šíří i jinými způsoby, nelze z tohoto zjištění vyvozovat striktní závěry.

9 Literatura

- AOPK, Č. R.; MŽP, Č. R. Natura 2000 – Krivoklátsko. 2003.
- Braun-Blanquet, J., *Prinzipien einer Systematik der Pflanzengesellschaften auf floristischer Grundlage*. St. Gallische Naturwiss. Ges., 1921.
- Britton, A. J., Beale, C. M., Towers, W., & Hewison, R. L. (2009). Biodiversity gains and losses: evidence for homogenisation of Scottish alpine vegetation. *Biological conservation*, 142(8), 1728–1739.
- Hédl, Radim. "Vegetation of beech forests in the Rychlebské Mountains, Czech Republic, re-inspected after 60 years with assessment of environmental changes." *Plant Ecology* 170.2 (2004): 243–265.
- Hennekens, S. M., & Schaminée, J. H. (2001). TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of vegetation science*, 12(4), 589–591.
- Chytrý, M., *Vegetace České republiky*. Vol. 1. Praha, Academia, 2007.
- Chytrý M., Tichý L., Dřevojan P., Sádlo J. & Zelený D., Ellenberg-type indicator values for the Czech flora. Ellenbergovské indikační hodnoty pro českou flóru. *Preslia* 90: 83–103, 2018. DOI: 10.23855/preslia.2018.083
- Kapfer, J., Hédl, R., Jurasinski, G., Kopecký, M., Schei, F.H. and Grytnes, J.-A. (2017), Resurveying historical vegetation data – opportunities and challenges. *Appl Veg Sci*, 20: 164-171. doi:10.1111/avsc.12269
- Keith, S. A., Newton, A. C., Morecroft, M. D., Bealey, C. E., & Bullock, J. M. (2009). Taxonomic homogenization of woodland plant communities over 70 years. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1672), 3539–3544.
- Kent, M., *Vegetation description and data analysis: a practical approach*. John Wiley & Sons, 2011. 428 s. ISBN: 978-0-471-49093-7
- Kolbek, J. a kolektiv, *Vegetace Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Krivoklátsko*. 3. Společenstva lesů, křovin, pramenišť, balvanišť a acidofilních lemů. Academia Praha. 2003. 380 s. ISBN 80-200-1159-5

- Kozáková, R., Šamonil, P., Kuneš, P., Novák, J., Kočár, P., & Kočárová, R. (2011). Contrasting local and regional Holocene histories of *Abies alba* in the Czech Republic in relation to human impact: Evidence from forestry, pollen and anthracological data. *The Holocene*, 21(3), 431–444.
- Kubát et al. Klíč ke květeně České republiky. 2002. Academia, Praha
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Dupouey, J. L., Bert, D., & Svenning, J. C. (2010). Forest plant community changes during 1989-2007 in response to climate warming in the Jura Mountains (France and Switzerland). *Journal of Vegetation Science*, 21(5), 949–964.
- Lepš, J. & Šmilauer, P. 2000. Mnohorozměrná analýza ekologických dat. Biologická fakulta, Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice, 102 pp.
- McCune, B., & Keon, D. (2002). Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. *Journal of vegetation science*, 13(4), 603–606.
- Moravec, J. et al. (1994): Fytocenologie, Academia, Praha. 403 s. ISBN 802000128X
- Moravec, J., Acidofilní doubravy. Přehled vegetace České republiky. Vol. 1, Academia, Praha. 63 s.
- Michalcová, E., Co je to fytocenologický snímek. *Živa*. 2010, no. 6. s. 265. ISSN 0044-4812
- Palivec, V., Křivoklátsko. Středočeské nakladatelství a knihkupectví v Praze. 1986. 184 s.
- Průša, E., Přirozené lesy České republiky. Ministerstvo lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČSR ve Státním zemědělském nakladatelství. 1990. 248 s.
- Reinecke, J., Klemm, G., & Heinken, T. (2014). Vegetation change and homogenization of species composition in temperate nutrient deficient Scots pine forests after 45 yr. *Journal of Vegetation Science*, 25(1), 113–121.

- Sádlo, J., Chytrý, M., Pergl, J., & Pyšek, P. (2018). Plant dispersal strategies: a new classification based on the multiple dispersal modes of individual species. *Preslia*, 90(1), 1–22.
- Svoboda, P., Křivoklátské lesy, dějiny jejich dřevin a porostů. 1943. *Studia Bot. Čechica*, Praha. 228 s.
- Šmilauer, P., & Lepš, J. (2014). *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO 5*. Cambridge university press.
- Šnobl, J., Künzel, Š., Studie o vymírání jedle na Křivoklátsku. 1934. Písek. 50–54.
- Thimonier, A., Dupouey, J. L., Bost, F., & Becker, M. (1994). Simultaneous eutrophication and acidification of a forest ecosystem in North-East France. *New phytologist*, 126(3), 533–539.
- Tichý, L. (2002). JUICE, software for vegetation classification. *Journal of vegetation science*, 13(3), 451–453.
- Verheyen, K., Baeten, L., De Frenne, P., Bernhardt-Römermann, M., Brunet, J., Cornelis, J., ... & Heinken, T. (2012). Driving factors behind the eutrophication signal in understorey plant communities of deciduous temperate forests. *Journal of Ecology*, 100(2), 352–365.
- Weber, H. E., Moravec, J., & Theurillat, J. P. (2000). International code of phytosociological nomenclature. *Journal of vegetation Science*, 11(5), 739–768.
- Wesche, K., Krause, B., Culmsee, H., & Leuschner, C. (2012). Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. *Biological Conservation*, 150(1), 76–85.
- Westhoff, V., & Van Der Maarel, E. (1978). The braun-blanquet approach. In *Classification of plant communities* (pp. 287–399). Springer, Dordrecht.
- Zelený D. & Chytrý M. Ecological Specialization Indices for species of the Czech flora. Indexy ekologické specializace pro druhy české flóry. *Preslia* 91: 93–116, 2019. DOI: 10.23855/preslia.2019.093
- Zíková, M., Křivoklátsko – turistický průvodce. Olympia. 2005. 132 s.

Internetové zdroje

WWW1: Česká národní fytoocenologická databáze. Dostupné z URL: <https://botzool.cz/vegsci/phytosociologicalDb/> (cit. 12. 6. 2020)

WWW2: Danihelka, J., Fytoocenologický výzkum. Dostupné z URL: https://www.sci.muni.cz/botany/danihelka/metody_terenni_botaniky/Soubory/Fytoocenologicky_vyzkum.pdf (cit. 1. 6. 2020)

WWW3: Tichý, L., & Holt, J., JUICE program for management, analysis and classification of ecological data. Dostupné z URL: https://www.sci.muni.cz/botany/juice/JUICEman_all.pdf (cit. 1. 6. 2020)

WWW4: Datenbank biologisch-ökologischer Merkmale der Flora von Deutschland. Dostupné z URL: <https://www.ufz.de/biolflor/index.jsp> (cit. 5. 6. 2020)

WWW5: Krajské listy. Komise asociace krajů je proti vyhlášení NP Křivoklátsko. [online]. 28.9.2013 [cit. 11.2.2020]. Dostupné z URL: <https://www.krajskelisty.cz/stredocesky-kraj/okres-rakovnik/2730-komise-asociace-kraju-je-proti-vyhlaseni-np-krivoklatsko.htm> (cit. 2. 2. 2020)