

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra ekologie lesa**



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Fluktuace floristické skladby a funkčních atributů rostlin  
bylinného patra dle chodu počasí v dlouhé časové řadě  
sledování subtermofilní doubravy na Křivoklátsku**

**Diplomová práce**

**Bc. Aneta Hroncová**

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

**2024**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Aneta Hroncová

Lesní inženýrství

### Název práce

Fluktuační floristické skladby a funkčních atributů rostlin bylinného patra dle chodu počasí v dlouhé časové řadě sledování subtermofilní doubravy na Křivoklátsku

### Název anglicky

Fluctuation of floristic composition and functional attributes of herb layer plants as determined by weather characteristics in a long-time observation of subthermophilous oakwood in Křivoklátsko region

### Cíle práce

Lesní ekosystémy, hostící druhově bohatou vegetací, jsou výrazněji ohrožovány ve skladbě rostlinných druhů řadou stochastických výkyvů podmínek prostředí, které jsou zapříčiněny probíhající klimatickou změnou. Výkyvy počasí ovlivňují primárně taxonomickou skladbu rostlin a sekundárně mění profilování tzv. funkčních atributů celého společenstva. Rozsah a směr změn funkčního profilu odhalí zásadní ekologické vlastnosti zkoumaného společenstva, jaké funkční atributy jsou málo či více citlivé na konkrétní výkyvy prvků počasí, což v důsledku determinuje schopnost rezistence a intenzitu rezilience společenstva. Výborným studijním objektem pro zkoumání těchto interakcí je druhově bohaté společenstvo subkontinentální mochnové doubravy (asociace *Potentillo albae-Quercetum*) ve střední části chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko. Od roku 1993 zde probíhá v oplocené experimentální ploše každoroční monitoring bylinného patra. Cílem práce bude analýza meziročních fluktuačních v pokryvnostech vybraných bylinných druhů a reakce celého bylinného patra na průběh ekologicky definovaných parametrů počasí, což umožní vyhodnocení schopnosti rezistence a míry rezilience zdejšího ochranně cenného lesního společenstva ve světle probíhající změny klimatu.

### Metodika

Ke konci června bude provedeno fytocenologické snímání dle standardizované metodiky Curyšsko-Montpelliérské školy v síti 25 trvalých monitorovacích ploch (čtvercové plochy o velikosti 5 × 5 m). Získaná terénní data budou přepsána do databáze vegetačních snímků v programu TURBOVEG. Z této databáze budou následně exportována data o pokryvnostech dvou typů bylinných druhů: 1) dominanty podrostu, 2) vzácnější druhy s nízkými pokryvnostmi. Exportovány budou rovněž kompletní fytocenologické snímky za účelem výpočtu vážených průměrů vybraných biologických parametrů celé bylinné synuzie: ellenbergovské indikační hodnoty, CSR strategie, fenologické skupiny a reprodukční typy. Vypočítány budou také podíly životních forem dle Raunkiäera (geofyty, terofyty, hemikryptofyty a chamaefyty). Biologické parametry a životní formy budou použity jako závislé proměnné pro regresní analýzy se zahrnutím prostorové struktury trvalých ploch, kde jako nezávislé prediktory budou figurovat proměnné charakterizující chod teplot a srážek (měsíční data) ve vybraných obdobích roku, včetně vypočteného Ellenbergova klimatického kvocientu a Standardizovaného srážkového indexu SPI. Data z kratšího zkoumaného období (2017–2023) budou též podrobena analýze

kovariance (ANCOVA), kde bude přidán specifický faktor vlivu zvěře (zahrnuty budou trvalé plochy mimo oplocenku, sloužící jako kontrola). Data o počasí budou extrahována z elektronického archivu ČHMÚ pro stanice Lány, Neumětely a Karlova Ves. Analýza bude provedena pro celé zkoumané období 1993–2023.

Harmonogram zpracování

jaro 2023: rešerše literatury

léto 2023: sběr terénních dat a jejich databázování, extrakce teplotních a srážkových dat

podzim-zima 2023: zpracování a úprava dat v tabulkovém editoru, statistické analýzy, editace výsledků

jaro 2023: sepsání diplomové práce





### Doporučený rozsah práce

Předpokládá se rozsah textu v délce 40-80 normostran (bez příloh)

### Klíčová slova

Světlé doubravy, bylinné patro, druhová diverzita, zástin, populační fluktuace, časová dynamika, počasí, vážený průměr společenstva, biologické atributy

---

### Doporučené zdroje informací

- Bernadzki E. (1998): Compositional dynamics of natural forests in the Bialowieza National Park, northeastern Poland. – *Journal of Vegetation Science* 9: 229–238.
- Dale V.H. et al. (2001): Climate change and forest disturbances. – *BioScience* 51: 723–734.
- Fischer F.M., Chytrý K., Těšitel J., Danihelka J. & Chytrý M. (2020): Weather fluctuations drive short-term dynamics and long-term stability in plant communities: A 25-year study in a Central European dry grassland. – *Journal of Vegetation Science* 31: 711–721.
- Franke J. & Köstner B. (2007): Effects of recent climate trends on the distribution of potential natural vegetation in Central Germany. – *International Journal of Biometeorology* 52: 139–147.
- Hlásny T., Holuša J., Štěpánek P., Turčáni M. & Polčák N. (2011): Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. – *Journal of Forest Science* 57: 422–431.
- Kohler F., Gillet F., Progin M.-A., Gobat J.-M. & Buttler A. (2004): Seasonal dynamics of plant species at fine scale in wooded pastures. – *Community Ecology* 5: 7–17.
- Lindner M. et al. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. – *Forest Ecology and Management* 259: 698–709.
- Milad M., Schaich H., Bürgi M. & Koňold W. (2011): Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. – *Forest Ecology and Management* 261: 829–843.
- Svenning J.-C. & Skov F. (2006): Potential impact of climate change on the northern nemoral forest herb flora of Europe. – *Biodiversity and Conservation* 15: 3341–3356.
- Zellweger F. et al. (2020): Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. – *Science* 368: 772–775.
- 

### Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

### Vedoucí práce

Mgr. Tomáš Černý, Ph.D.

### Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 7. 6. 2023

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2024

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Fluktuace floristické skladby a funkčních atributů rostlin bylinného patra dle chodu počasí v dlouhé časové řadě sledování subtermofilní doubravy na Křivoklátsku vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 4.4.2024

---

Bc. Aneta Hroncová

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu práce Mgr. Tomášovi Černému, Ph.D. za trpělivý přístup, cenné rady a veškerou pomoc při zpracování této diplomové práce. Děkuji také Ing. Janu Doudovi, Ph.D. z Fakulty životního prostředí ČZU za pomoc při konstrukci statistického modelu v programu R. Dále bych také ráda poděkovala mému partnerovi, rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývala vyhodnocením vývoje dynamiky bylinného patra zachovalého společenstva subkontinentální doubravy asociace *Potentillo albae-Quercetum* na lokalitě Přírodní rezervace Červený kříž v závislosti na chodu počasí v letech 1993–2023. Toto lesní druhově bohaté společenstvo je ohroženo zejména sukcesí, ustáním tradičních způsobů hospodaření, eutrofizací území, ale také klimatickými změnami.

V PR Červený kříž byla v roce 1993 založena trvalá oplocená monitorovací plocha, na které každoročně probíhá monitoring bylinné vegetace pomocí fytoocenologického snímkování. Následně v roce 2017 byla založena neoplocená kontrolní plocha ke zjištění vlivu zvěře na vegetaci. Zpracovaná terénní data v podobě vypočítaných vážených průměrů ekologických charakteristik a funkčních znaků vegetace byla spolu s prvky počasí za definovaná období podrobena sérii lineárních modelů se smíšenými efekty. Dále byla provedena analýza závislosti mezisezónních fluktuací v individuálních pokryvnostech čtrnácti vybraných druhů bylin na prvcích chodu počasí.

Vyhodnocení průběhu meteorologických charakteristik v oblasti Křivoklátska za sledované období ukázalo významný trend oteplování. Úhrny srážek nevykazují výrazný pokles, byl pozorován pouze velmi mírný klesající trend. Zároveň byl v posledních deseti letech prokázán častější výskyt sucha. Ve výsledcích statistických analýz dynamiky bylinného patra subkontinentální doubravy se projevilo velké množství interakcí mezi vegetací, jejími funkčními znaky a prvky počasí. Zároveň byly pozorovány rozdíly mezi odezvami vegetace na ploše oplocené a ploše kontrolní, ovlivněné zvěří. Bylinné patro na trvalé oplocené ploše bylo nejvíce ovlivňováno výkyvy jarních teplot a kolísáním teplot a srážek v předcházejícím vegetačním období. Tyto prediktory ovlivňovaly především výskyt konkurenčně-ruderálních a konkurenčních strategií. Na ploše kontrolní na vegetaci působily především zimní srážky a teploty, které měly vliv na výskyt konkurenčně-ruderálních strategií. V analýze fluktuace pokryvností vybraných druhů se většinou neprojevily výrazné individuální reakce druhů, výrazněji na klimatické prediktory reagovaly pouze druhy *Galium aparine* a *Myosotis sylvatica*.

Přes veškeré zjištěné informace je těžké odhadovat, jakým směrem se vývoj vegetace tohoto výjimečného společenstva bude ubírat. Přestože jsou ve společenstvu v závislosti na chodu počasí pozorovány meziroční výkyvy, výrazné jednosměrné změny v dlouhodobém měřítku prokázány nejsou. Můžeme říci, že společenstvo subtermofilní doubravy na lokalitě Červený kříž je relativně stabilní a bude záležet především na budoucím vývoji změn klimatu, které mohou svými účinky podporovat vývoj jak žádoucích, tak nežádoucích rostlin.

**Klíčová slova:** Světlé doubravy, bylinné patro, druhová diverzita, zástin, populační fluktuace, časová dynamika, počasí, vážený průměr společenstva, biologické atributy rostlin



## ABSTRACT

The thesis dealt with the evaluation of the evolution of the dynamics of the herbaceous layer of the preserved community of subcontinental oak forest of the *Potentillo albae-Quercetum* association in the Červený kříž Nature Reserve in relation to the weather elements in the period 1993–2023. This forest species-rich community is threatened mainly by succession, cessation of traditional silvicultural system, eutrophication of the area, but also by climate changes.

In 1993, a permanent fenced monitoring area was established in Červený kříž NR, where the herbaceous vegetation is monitored annually by means of phytosociological relevés. Then, in 2017, an unfenced monitoring plot was established to determine the effect of wild game on vegetation. The processed field data in the form of calculated weighted averages of ecological characteristics and functional vegetation traits were subjected to a series of linear mixed-effects models along with weather features for defined periods. Furthermore, the dependence of interseasonal fluctuations in the individual cover of 14 species on weather elements was analyzed.

The evaluation of the course of meteorological characteristics in the Křivoklátsko area for the period under study showed a significant warming trend. Precipitation totals did not show a significant decrease, only a very slight downward trend was observed. At the same time, a more frequent occurrence of droughts has been shown in the last ten years. The results of the statistical analyses of the dynamics of the herbaceous understory of the subcontinental oak forest showed a large number of interactions between the vegetation, its functional traits, and weather elements. At the same time, differences were observed between the responses of vegetation in the fenced area and the control area, influenced by wildlife. The herbaceous understory in the permanently fenced area was most influenced by spring temperature fluctuations and variations in temperature and precipitation in the preceding growing season. These predictors primarily influenced the occurrence of competitive-ruderal and competitive strategists. In the control plot, vegetation was primarily influenced by winter precipitation and temperature, which affected the occurrence of competitive-ruderal strategists. In the analysis of cover fluctuations of selected species, most species did not show significant individual responses, only *Galium aparine* and *Myosotis sylvatica* responded significantly to climatic predictors.

In spite of all the information obtained, it is difficult to predict the direction in which the vegetation of this exceptional community will evolve. Although inter-annual fluctuations are

observed in the community depending on the weather patterns, no significant unidirectional changes have been demonstrated on a long-term scale. It can be claimed that the sub-thermophilous oak community at the Červený Kříž site is relatively stable and will depend primarily on the future development of climate change, which has the potential to support both desirable or unwanted plant species and so the essence of this unique forest community can be kept or disrupted.

**Keywords:** Light oak forests, herbaceous understory, species diversity, shade, population fluctuations, temporal dynamics, weather, community weighted mean, plant biological attributes

# Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>14</b>
<b>3 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>15</b>
3.1 Ekologický význam bylinného patra v lesním prostředí.....	15
3.2 Acidofilní teplomilné doubravy – svaz <i>Quercion petraeae</i> .....	16
3.2.1 Subkontinentální mochnové doubravy – asociace <i>Potentillo albae-Quercetum</i> .....	17
3.3 Metoda fytoocenologického snímkování.....	19
3.4 Klima.....	20
3.4.1 Historický vývoj klimatu.....	21
3.4.2 Současné klima v ČR.....	21
3.4.3 Možné dopady klimatických změn na lesní ekosystémy.....	22
3.5 Interakce rostlin a meteofaktorů.....	23
3.6 Vybrané vzácné druhy.....	25
3.7 Vybrané dominanty bylinného patra.....	28
3.8 Biologické vlastnosti rostlin.....	31
<b>4 METODIKA</b> .....	<b>34</b>
4.1 Popis zkoumaného území.....	34
4.1.1 Chráněná krajinná oblast Křivoklátsko.....	34
4.1.2 Přírodní rezervace Červený kříž.....	37
4.2 Sběr dat v terénu.....	40
4.3 Meteorologická data.....	42
4.4 Biologické vlastnosti společenstva.....	43
4.5 Digitalizace a zpracování terénních dat.....	44
4.6 Statistické analýzy.....	45
<b>5 VÝSLEDKY</b> .....	<b>48</b>
5.1 Průběh meteorologických charakteristik.....	48
5.2 Vegetace versus počasí: výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty.....	51
5.2.1 Dynamika bylinné vegetace v oplocené ploše za období 1993–2023.....	51
5.2.2 Dynamika bylinné vegetace v oplocené ploše za období 2017–2023.....	53
5.2.3 Dynamika bylinné vegetace na kontrolní neoplocené ploše za období 2017–2023.....	55

5.3	Vyhodnocení analýzy fluktuace pokryvností vybraných bylinných druhů.....	57
<b>6</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>59</b>
6.1	Regionální chod počasí a změna klimatu v období 1993–2023 .....	59
6.2	Dynamika bylinného patra subkontinentální doubravy .....	61
6.2.1	Dynamika bylinného patra v oplocené ploše .....	62
6.2.2	Dynamika bylinného patra na neoplocené ploše .....	64
6.2.3	Porovnání výsledků odezev vegetace na klimatické prediktory na oplocené ploše s bakalářskou prací .....	65
6.3	Podobnost dynamiky bylinného patra v závislosti na průběhu počasí subkontinentální doubravy se suchými trávníky na jižní Moravě .....	66
6.4	Fluktuace pokryvností vybraných bylinných druhů.....	67
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ GRAFŮ A TABULEK.....</b>	<b>86</b>
	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>88</b>

# 1 ÚVOD

Přírodní rezervace Červený kříž je unikátní zachovalou lokalitou společenstva střídavě vysýchavé subkontinentální doubravy s mochnou bílou, asociace *Potentillo albae-Quercetum*. Tato přírodní rezervace, vyhlášená v roce 1989, se nachází v Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervaci Křivoklátsko, nedaleko obce Nový Jáchymov. Společenstvo je charakteristické rozvolněným stromovým patrem dubu zimního a druhově bohatým bylinným podrostem, ve kterém se vyskytují jak druhy světlostní, typické pro louky nebo lesní okraje, tak druhy stín-tolerantní (Roleček 2010).

Dynamika tohoto společenstva je ohrožována zejména sukcesními změnami v určité závislosti na historických transformacích hospodaření. V tomto případě se jedná zejména o změny způsobené ustáním pařezení a pastvou, jejichž dopadem je rozvoj keřového patra a následný přechod v tmavší a vlhčí lesní společenstva (Lendzion & Leuschner 2009, Hédal et al. 2010). Zároveň jsou tato stanoviště ohrožena změnami v depozicích dusíku (eutrofizací území) a v neposlední řadě také klimatickými změnami.

Na dílčí části rezervace byla v roce 1993, pod záštitou Botanického ústavu Akademie Věd ČR, zřízena trvalá oplocená monitorovací plocha, na které je prováděn každoročně pomocí fytoocenologického snímkování monitoring bylinného patra. Aby byl zjištěn vliv a intenzita působení zvěře na vegetaci, byla v roce 2017 založena i plocha kontrolní, nechráněná oplocením. Na lokalitě byla v roce 2022 provedena studie hodnotící mezesézní reakce bylinného patra na prvky počasí, která si kladla za cíl detekci významných klimatických signálů v odpovědích vegetace (Hroncová 2022). Předložená diplomová práce je pokračováním této bakalářské práce, do jejíž časové řady byla doplněna terénní a meteorologická data z let 2022 a 2023. Metodicky diplomová práce vychází z práce bakalářské, nově jsou zpracovány a vyhodnoceny pokročilé statistické analýzy, které poskytují hlubší porozumění vztahu odezvy lesní vegetace na měnící se chod počasí, ještě doplněné analýzou interakce s aktivitou zvěře.

Smyslem této diplomové práce je vyhodnotit vývoj vegetace v závislosti na prvcích chodu počasí během třicetileté časové řady (1993–2023). Tato dlouhodobá studie nám může poskytnout informace o fungování dílčích procesů a ekologicky významných závislostí probíhajících v bylinné vegetaci a ekosystému jako celku, a můžeme díky ní i rozpoznat určité pravidelnosti v čase nebo získat podklady pro plán ochrany tohoto významného společenstva (Faliński 2003). Primárně nás v této práci zajímá, do jaké míry společenstvo závisí na prvcích chodu počasí, případně jestli dochází k nějaké lineární změně podmínek a k následné jednostranné reakci společenstva.

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je vyhodnocení reakce bylinného patra ve společenstvu subkontinentální mochnové doubravy v Přírodní rezervaci Červený kříž na vývoj prvků počasí během třicet let dlouhé časové řady (1993–2023) za pomoci zohlednění řady vegetačních vlastností, odvozených z druhového složení studovaného společenstva. Dalším cílem práce je analýza závislosti mezisezónních fluktuací v pokryvnostech čtrnácti vybraných druhů bylinného patra (dominant a vzácných druhů) na klimatických prediktorech. Výzkum byl realizován na lokalitě vzácného a druhově bohatého bylinného lesního společenstva světlých doubrav nacházející se ve střední části Chráněné krajinné oblasti Křivoklátsko, kde probíhá na trvalé výzkumné ploše každoroční monitoring bylinného patra. Tyto analýzy vývoje dynamiky vegetace v závislosti na klimatických podmínkách v dlouhé časové řadě mají zásadní důležitost pro pochopení ekologických vztahů a rovněž mohou pomoci predikovat možné dopady klimatických změn na strukturu a druhovou skladbu příslušných lesních společenstev.



## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Ekologický význam bylinného patra v lesním prostředí

Bylinné patro je přízemní část vegetace, zpravidla do výšky 1 m, která je tvořena semennými a vyššími výtrusnými rostlinami, polokeři a semenáčky (Moravec et al. 1994). Tvoří zhruba jedno procento z celkové nadzemní biomasy lesa, přesto má na fungování lesních ekosystémů zásadní význam. Mimo základní ekosystémové funkce, které bylinné a mechové patro plní, jako jsou například protierozní a infiltrační funkce nebo potrava pro živočichy, významně působí i na tok uhlíku, dusíku a dalších prvků v lese (Novák 2022). Opad bylinného patra představuje až 20 % z celkového listového opadu lesní biocenózy (Gilliam 2007). Dekompozice tohoto opadu probíhá přibližně dvakrát rychleji než rozklad opadu většiny listnatých stromů mírného podnebného pásu. Protože tento opad obsahuje i větší množství živin a prvků důležitých pro výživu rostlin, půda je významně obohacována o rostlinám přístupné makronutrienty (Gilliam 2006, Novák 2022), zároveň bylinný opad zlepšuje mikrobiální parametry půdy, zejména množství a kvalitu bakteriální a houbové biomasy (Stefanowicz et al. 2022).

Vývoj, druhová skladba, struktura a dynamika bylinného podrostu závisí na podmínkách prostředí a zároveň bylinné patro na narušení nebo změny environmentálních poměrů reaguje zpravidla citlivěji než dřeviny (Novák 2022). Studium těchto reakcí může poskytnout důležité informace o stanovišti, včetně vzorců minulého způsobu využívání půdy, nebo i například o dopadech klimatické změny (Gilliam 2007). Změnami rostlinstva v průběhu roku se zabývá fenologie (Leith 1974), dlouhodobější proměnlivost biocenóz zkoumá temporální ekologie (Novák 2022).

Bylinný podrost se také zásadním způsobem podílí na biodiverzitě lesního ekosystému. Přestože představuje méně než 1 % celkové biomasy, může představovat až 90 % rozmanitosti lesního prostředí (Gilliam 2007, Gilliam 2014). Druhově chudá bylinná vegetace bývá většinou přítomna na kyselých stanovištích, naopak druhově bohaté porosty se na území České republiky nacházejí většinou v teplejších oblastech na bazických půdách (Novák 2022). Pro biodiverzitu mají svůj charakteristický význam i vzácné druhy se specifickými stanovištními nároky, které lze využít jako reprezentanty či klíčové druhy umožňující nepřímo identifikovat poměry biodiverzity (Spyreas & Matthews 2006, Gilliam 2007).

Z hlediska ekologie a fytocenologie je bylinný podrost významným indikátorem při určování biotopů (Chytrý et al. 2010) a fytocenologických jednotek (Chytrý 2013) a v lesnictví

hraje svojí roli při odvozování typologických podmínek (Plíva 1971). Změny dynamiky bylinné vegetace mohou být také významným ukazatelem důsledků klimatických změn (Franklin et al. 2016).

### 3.2 Acidofilní teplomilné doubravy – svaz *Quercion petraeae*

Svaz *Quercion petraeae* sdružuje rostlinná společenstva teplomilných doubrav, vyskytující se mimo areál výskytu dubu pýřitého – *Quercus pubescens* (Chytrý 1997). Tato společenstva se v České republice vyskytují na územích, kde průměrná roční teplota převyšuje 7 °C a průměrné roční srážky jsou nižší než 650 mm. Zároveň je výskyt těchto fytoocenóz vázán především na chudá až středně bohatá stanoviště (Roleček 2013) s mělkými půdami typu ranker nebo rendzina (Chytrý 1997). Lokality s těmito společenstvy se většinou nacházejí na osluněných jižních mírných svazích nebo rovinách (Chytrý 1997). Společenstva svazu *Quercion petraeae* jsou nejvíce zastoupeným typem teplomilných doubrav na území ČR (Roleček 2013), protože na rozdíl od svazů *Quercion pubescenti-petraeae* nebo *Aceri tatarici-Quercion* pronikají i do relativně chladnějších a vlhčích oblastí (Chytrý 1997). Mimo Českou republiku se tento typ lesní biocenózy nachází v Polsku, Německu, Rakousku, Slovensku, Maďarsku, ale i v Bělorusku a na Ukrajině, kde je vázán na mírně teplé oblasti (Mráz 1958, Chytrý 2013).

Dominantou stromového patra těchto společenstev je především dub zimní (*Quercus petraea*) nebo dub letní (*Q. robur*), pouze ojediněle dub pýřitý (*Q. pubescens*). Přimíšenými dřevinami jsou nejčastěji heliofilní a termofilní dřeviny jako např. borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a jeřáb břek (*Sorbus torminalis*), nebo hájové dřeviny jako habr obecný (*Carpinus betulus*) a lípa srdčitá (*Tilia cordata*; Chytrý 2013, Roleček 2013). Keřové patro bývá chudé (Vacek et al. 2012). Většinou se objevují pouze zmlazující se druhy patra stromového, na vlhčích lokalitách je pak běžná krušina olšová (*Frangula alnus*; Chytrý 2013, Roleček 2013). Mechové patro na těchto stanovištích je přítomno jen málo nebo téměř vůbec, pouze na stanovištích extrémně kyselých jsou mechorosty a lišejníky zastoupeny výrazněji (Chytrý et al. 2010).

Bylinné patro zkoumané lesní fytoocenózy je povětšinou druhově bohaté (Vacek et al. 2012), a zároveň platí, že se druhová diverzita rostlin zvyšuje s rostoucím pH (Roleček 2013). Proměnlivost druhů bylinného patra závisí zejména na hloubce a vysychavosti půdy, ale také na dostupnosti živin. Sušší stanoviště s mělkými půdami jsou obsazována acidotolerantními suchomilnými a teplomilnými druhy, mezi které patří bělozářka větevnatá – *Anthericum*

*ramosum*, kokořík vonný – *Polygonatum odoratum* a řimbaba chocholičnatá – *Tanacetum corymbosum*, dále mírně teplomilnými acidotolerantními druhy (např. náprstník velkokvětý – *Digitalis grandiflora*, silenka nicí – *Silene nutans*) a druhy vysychavých mělkých půd (např. třezalka tečkovaná – *Hypericum perforatum*, chlupáček zední – *Pilosella officinarum*). Hlubší půdy charakterizují druhy mezofilní jako např. kostřava různolistá – *Festuca heterophylla*, jahodník tuskavec – *Fragaria moschata*, jaterník podléška – *Hepatica nobilis* a druhy sekundárních bezkolencových luk s hydrickým režimem střídavé vlhkosti, mezi které patří mochna bílá – *Potentilla alba*, srpice barvířská – *Serratula tinctoria* a bukvice lékařská – *Betonica officinalis*. Dále se na těchto stanovištích hojně vyskytují (sub)acidofilní druhy, zejména kručinka barvířská – *Genista tinctoria*, kručinka německá – *G. germanica*, jestřábník Lachenalův – *Hieracium lachenalii*, jestřábník zední – *H. murorum*, rozrazil rezekvítek – *Veronica chamaedrys*, bika bělavá – *Luzula luzuloides* a černýš luční – *Melampyrum pratense*. Bohatší půdy mohou zajistit i výskyt některých bazifytů, nejčastěji pak válečka prapořitá – *Brachypodium pinnatum*, klinopád obecný – *Clinopodium vulgare*, violka srstnatá – *Viola hirta* a prvosenka jarní – *Primula veris* (Chytrý 2013, Roleček 2013).

Lesní porosty tohoto společenstva byly obvykle obhospodařovány pařezinovým způsobem, jde tedy většinou o lesy nízké nebo střední, které byly v minulosti využívány především pro produkci palivového dříví a pastvu dobytka (Roleček 2013). Jejich vývoj byl proto významně ovlivněn činností člověka (Ellenberg 2009). V současnosti jsou tato společenstva ohrožena sukcesní přeměnou v mezofilnější a stinnější typy lesa, zejména z důvodu úpadku tradičních způsobů hospodaření a změny depozice živin (Dzwonko & Gawroński 2002, Hofmeister et al. 2002, Hédli et al. 2010). Ve stromovém patře dochází k postupnému nárůstu pozdně sukcesních druhů, zejména *Carpinus betulus* a *Tilia cordata* (Bernadzki et al. 1998). K eutrofizaci pak dochází zejména v porostech s vyšším zápojem a porostech, kde jsou vyšší stavy zvěře (Chytrý et al. 2010).

Ve fytoocenologickém členění se svaz *Quercion petraeae* rozlišuje do tří asociací: mochnové doubravy (*Potentillo albae-Quercetum*), panonské sprašové doubravy (*Quercetum pubescenti-roboris*) a doubravy panonských písčín s ostřicí doubravní (*Carici fritschii-Quercetum roboris*; Roleček 2010, Chytrý 2013).

### 3.2.1 Subkontinentální mochnové doubravy – asociace *Potentillo albae-Quercetum*

Do společenstva asociace *Potentillo albae-Quercetum* se zařazují světlé vysokokmenné mírně teplomilné porosty dubu zimního (*Quercus petraeae*) nebo letního (*Q. robur*) (Roleček

2007) s eventuální příměsí habru obecného (*Carpinus betulus*), lípy srdčité (*Tilia cordata*), javoru babyky (*Acer campestre*) nebo jeřábu břeku (*Sorbus torminalis*; Roleček 2013). Keřové patro obvykle bývá vyvinuto, ale pouze s nízkou pokrývností (Chytrý 1997, Kolodziejek 2017). Lokality výskytu jsou většinou rovinaté až mírně svažité osluněné terény (do 10 °) nebo mělké terénní deprese (Chytrý 1997, Roleček 2013, Kolodziejek 2017). Stanoviště jsou zpravidla chudá a střídavě vlhká. Matečnou horninu tvoří břidlice, jílovce, sprašové hlíny, případně spraše (Roleček 2013).

Toto společenstvo je velmi ceněné zejména z floristického hlediska pro svou rozmanitost a druhovou bohatost (Obrázek č. 1). Ve společenstvech této asociace se vyskytuje mnoho zajímavých teplomilných a heliofytních druhů (Jakubowska-Gabara 1996). Mezi stálé dominanty bylinného patra patří: *Poa nemoralis*, *Brachypodium pinnatum* a *Convallaria majalis*. Diagnostickými skupinami druhů jsou zejména druhy teplomilných doubrav (např. *Anthericum ramosum*, *Tanacetum corymbosum*, *Polygonatum odoratum*), druhy acidofilních doubrav (např. *Luzula luzuloides*, *Hieracium lachenalii*, *Melampyrum pratense*) a druhy mezofilních dubohabřin (např. *Campanula persicifolia*, *Melica nutans*, *Anemone nemorosa*; Chytrý 1997, Chytrý 2013). Mezi typické druhy této biocenózy patří také druhy střídavě vlhkých půd, společenstva bezkolencových luk – svaz *Molinion* (např. *Potentilla alba*, *Betonica officinalis*, *Galium boreale*, *Carex montana*, *Serratula tinctoria*; Roleček 2010).

Dynamika těchto lesních společenstev byla po celá staletí ovlivňována činností člověka, zejména tradičními způsoby hospodaření (pařezení) a pastvou hospodářských zvířat (Sádlo et al. 2005). Výzkumy v Polsku, kde je tato asociace roztroušeně zastoupena na malých plochách po celé zemi, ukázaly, že dochází k postupnému ústupu těchto společenstev ve prospěch stinných převážně dubohabrových lesů (Jakubowska-Gabara 1996, Andrzejewski et al. 2015). Tento fakt, poukazuje na to, že subkontinentální doubravy jsou sukcesně nestabilní společenstva (Roleček 2010), pro jejichž zachování bude nejspíše nutné uplatňovat aktivní management ochrany v podobě vyřezávání keřového patra (Kiedrzyński et al. 2010).

Podle Ellenberga (2009) bylinné patro v doubravách více reaguje na změny klimatu než bylinný podrost v stinných lesích (např. bučinách), protože porost je rozvolněnější a bylinné patro není před atmosférickými vlivy tolik chráněno zápojem. Zároveň ale je bylinné patro těchto stanovišť přizpůsobeno druhovým složením světlejším podmínkám a uzavíráním zápoje mohou tato stanoviště degradovat.

**Obrázek č. 1:** Doubrava asociace *Potentillo albae-Quercetum*, lokalita Červený kříž (A. Hroncová, 27. 6. 2023).



### 3.3 Metoda fytoocenologického snímkování

Monitoring a sledování rostlinných druhů se zejména v botanice a fytoocenologii využívá jako prostředek pro výzkum vzájemných vztahů rostlinných druhů ve společenstvu a také ke zkoumání vztahů vegetace a prostředí. Ke zjišťování výskytu druhů na dané lokalitě se používají nejrůznější způsoby, od sběru herbářových položek po inventarizační průzkum. V nauce o rostlinných společenstvech se používá především fytoocenologické snímkování (Michalcová 2010).

Požizování fytoocenologických záznamů vyvinul Švýcar Josias Braun-Blanquet, jeden z hlavních představitelů curyšsko-montpelliérské školy (Braun-Blanquet 1964, Kovář 2004). Mezi hlavními cíli tohoto proudu bylo definování pravidel pro záznam vegetace v terénu, následné vytvoření klasifikace rostlinných společenstev, ale i vývoj metod k analyzování fytoocenologických snímků (Moravec et al. 1994, Michalcová 2010).

Curyšsko-montpelliérský směr při rozpoznávání syntaxonů vychází z celkového druhového složení rostlinných společenstev. Tím se tento směr významně diferencuje od jiných



dřívějších směrů, které při syntaxonomii vycházely především z fyziognomie společenstva a z dominantních druhů (Moravec et al. 1994). Základní jednotkou tohoto klasifikačního přístupu je asociace: „asociace je rostlinné společenstvo charakterizované určitými floristickými a sociologickými znaky, které projevuje přítomností význačných druhů jistou samostatností“ (Braun-Blanquet 1921).

Fytocenologický snímek je záznam všech rostlinných druhů a jejich relativního zastoupení v jednotlivých patrech vertikální struktury vegetace na prostorově vymezeném území v konkrétním časovém okamžiku (Braun-Blanquet 1964, Moravec et al. 1994, Michalcová 2010). Pomocí fytocenologických snímků je možné studovat rostliny na úrovni rostlinných společenstev (Moravec et al. 1964) a také zákonitosti a procesy, které ve společenstvech probíhají (Gilliam 2007). Fytocenologické snímky mají četná využití, kromě klasifikace společenstev mohou sloužit například k monitoringu invazních druhů (Blossey 1999, Dostál et al. 2012, Lanta et al. 2022) nebo ke studiu časové dynamiky fytocenóz na trvalých výzkumných plochách (Petřík et al. 2011, Fischer et al. 2020).

### **3.4 Klima**

Počasí je popisováno jako okamžitý nebo krátce trvající stav atmosféry nad vymezeným územím, určený souborem meteorologických prvků a jevů (Křivský 1980, Český hydrometeorologický ústav 2011). Klima neboli podnebí je dlouhodobý charakteristický režim počasí na Zemi nebo její části, který je daný proměnlivostí stavu klimatického systému (Krečmer 1980, Robinson & Henderson-Sellers 1999). Klimatický systém je složité vzájemné působení komplexu prvků, které se podílejí na genezi klimatu. Do těchto prvků patří především atmosféra, hydrosféra, kryosféra, biosféra a pedosféra. Všechny tyto složky jsou navzájem velmi silně propojeny a neustále mezi nimi probíhají fyzikální, chemické a biologické procesy, při kterých dochází k výměně látek a energií (např. vítr, záření, koloběh vody; Robinson & Henderson-Sellers 1999, Česká meteorologická společnost 2024). Aby bylo možné popisovat klima a vyhodnocovat jeho dlouhodobý stav a vývoj, je potřeba sledovat velké množství meteorologických prvků (např. teplota, srážky, tlak a vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru) zpravidla nejméně třicet let (Český hydrometeorologický ústav 2011) a následně tyto prvky hodnotit pomocí statistických charakteristik jako jsou průměry, extrémny, denní a roční chody, proměnlivost a trendy (Dobrovolný et al. 2022). Pro správnou charakteristiku klimatu je důležité vyhodnotit i veličiny vyjadřující jeho fluktuaci, jako jsou například extrémní hodnoty a meziroční kolísavost (Český hydrometeorologický ústav 2011).



### 3.4.1 Historický vývoj klimatu

Studium historického vývoje klimatu vychází především ze závislosti přírodních systémů na vývoji klimatu a tato závislost je v ekosystémech různým způsobem zakódovaná. Tyto nepřímě získané informace o klimatu se nazývají *proxy* data (Cowie 2013, Dobrovolný et al. 2022). Mezi základní druhy *proxy* dat patří geologická data (např. analýzy navátých sedimentů, mořských a jezerních sedimentů, fosilních půd), glaciologická data (např. analýza vrtných jader ledovců) a data biologická (např. dendrochronologie, pylová analýza atd.; Hidore & Oliver 2010, Česká meteorologická společnost 2024). Zároveň se s těmito daty využívají i dokumentární prameny ekonomické aktivity a hmotné kultury člověka, které doplňují nebo i objasňují získané informace z *proxy* dat (Behringer 2010, Dobrovolný et al. 2022). I přes veškeré dosažené historické informace musíme říci, že pohled na proměnlivost klimatu, ať už prostorovou nebo časovou, je do jisté míry omezený (Bodri & Čermák 1999).

V průběhu posledních 2,6 milionu let, tedy v období čtvrtohor, docházelo k pravidelně se opakujícím změnám klimatu. Tyto změny se projevovaly střídáním chladnějších období (glaciálů) a teplejších období (interglaciálů) a závisely především na změnách parametrů oběžné dráhy Země okolo Slunce. Nyní, v nejmladším období čtvrtohor, se Země nachází v období interglaciálu a poslední chladnější období skončilo asi před 11 700 lety (Cowie 2013, Dobrovolný et al. 2022).

Vývoj klimatu v Evropě v posledních 2000 letech se rozděluje do pěti hlavních období: teplé období antiky (RWP – Roman Warm Period), chladné období stěhování národů (DACP – Dark Ages Cold Period), teplá perioda středověké klimatické anomálie (MCA – Medieval Climate Anomaly), malá doba ledová (LIA – Little Ice Age) a soudobé globální oteplování (RGW – Recent Global Warming; Pfister & Wanner 2021, Dobrovolný et al. 2022). Tato období nejsou přesně datově ani prostorově vymezena, protože je pravděpodobné, že některá z nich neměla celosvětový charakter, na různých územích se projevila nevýrazně nebo vůbec (Bradley et al. 2003). Tato skutečnost nám také ukazuje přirozenou vlastnost klimatu, tedy že není časově ani prostorově ohraničené a mění se postupně s větší nebo nižší intenzitou (Bodri & Čermák 1999, Dobrovolný et al. 2022).

### 3.4.2 Současné klima v ČR

Na území České republiky, stejně jako v jiných částech světa, jsou v současnosti pozorovány projevy globálního oteplování (klimatické změny). Přibližně od 60. let 20. století

dochází k postupnému nárůstu teplot vzduchu, tento trend poté ještě v 80. letech 20. století zesílil. Od tohoto období platí, že průměrná teplota nové dekády je vždy vyšší než průměrná teplota té předchozí. Z toho vyplývá, že v posledním desetiletí (2011–2019) byla dosažena nejvyšší průměrná roční teplota, a to 9,1 °C (Zahradníček et al. 2021, Zahradníček et al. 2022). Mezi jednotlivými dekádami se rozdíly v průměrných teplotách pohybovaly v intervalu od 0,2 do 0,4 °C (Zahradníček et al. 2021, Zahradníček et al. 2022), pouze poslední desetiletí (2011–2019) se od předchozího období lišilo o 0,8 °C (Zahradníček et al. 2022). Lineární trend nárůstu průměrných ročních teplot se v posledních 50 letech v závislosti na nadmořské výšce pohybuje od 0,30 do 0,45 °C za deset let (Český hydrometeorologický ústav 2011). Z hlediska sezónnosti je statisticky významný nárůst teplot vzduchu zjišťován ve všech obdobích, nejvýraznější je nárůst teplot v létě, naopak pozvolnější nárůst je pozorován na podzim (Zahradníček et al. 2021, Zahradníček et al. 2022).

Úhrny srážek jsou na území ČR jak časově, tak prostorově velmi proměnlivé, a proto nevykazují žádný statisticky významný dlouhodobý trend vývoje, mění se ale jejich prostorová a časová distribuce (Zahradníček et al. 2021, Zahradníček et al. 2022). Pokles srážek v pozdním jarním období je kompenzován zvýšením úhrnů v dubnu a červenci (Český hydrometeorologický ústav 2011). Průměrný roční úhrn srážek za období 1961–1990 činil 682 mm. Nejvíce srážek spadlo v letech 2001–2010, kdy srážky byly průměrně o 60 mm vyšší než v období 1961–1990. Naopak nejméně srážek bylo naměřeno poslední dekádě, tedy mezi lety 2011–2019, kdy průměrně spadlo o 30 mm méně než v období mezi roky 1961 a 1990. Z hlediska sezónní distribuce spadne průměrně nejvíce srážek v letním období a nejméně v období zimním. V poslední dekádě je úbytek srážek sledován hlavně na jaře, v létě a v zimě, zejména pak v období duben až červen. Naopak mírný nárůst byl pozorován na podzim (Zahradníček et al. 2022).

### **3.4.3 Možné dopady klimatických změn na lesní ekosystémy**

Lesní prostředí je otevřený dynamický systém, jehož existence, dynamika a struktura jsou závislé na podmínkách prostředí (Pokorný 2021). Předpokládá se, že změny zemského klimatu zásadně ovlivní většinu ekologických systémů včetně lesů (Pielke et al. 2003). Klimatická změna se projevuje, jak již bylo řečeno, zejména oteplováním a změnou distribucí srážek (Zahradníček et al. 2022), dochází ale také k častějším výskytům extrémních jevů (např. sucho, bořivé větry, povodně; Lindner et al. 2010). Reakce lesních ekosystémů na změny klimatu jsou

špatně předvídatelné, zejména odhadování charakteru a rozsahu změn je velmi náročné kvůli jejich dlouhé životnosti a dlouhodobému vývoji (Seidl & Turner 2022).

Změny faktorů prostředí se na lesních ekosystémech mohou projevat přímo (direktně) prostřednictvím ovlivnění základních fyziologických vlastností nebo nepřímo, zejména prostřednictvím změn v konkurenceschopnosti druhů, změn vnitrodruhových, ale i mezidruhových vztahů nebo zavlečením nových škůdců, případně změnami v rozšíření a populační dynamice druhů domácích (Hlásny et al. 2011b). Fungování lesních ekosystémů může být těmito změnami ovlivněno jak negativně, tak i pozitivně, zejména v závislosti na stanovištních podmínkách a regionálních změnách klimatu (Lindner et al. 2010, Hlásny et al. 2011a). Mezi pozitivní krátkodobé nebo střednědobé účinky může patřit zvýšení produkce biomasy ve vyšších nadmořských výškách v důsledku reakce na prodloužení vegetačního období. Negativní dopady klimatických změn, které budou s největší pravděpodobností převažovat, jsou spojovány především s výskytem extrémních klimatických jevů a disturbancí (Lindner et al. 2010, Hlásny et al. 2014). Obecně lze říci, že klíčovým limitujícím faktorem pro vegetaci bude sucho, a to obzvláště v nižších nadmořských výškách (Hlásny et al. 2011b).

Ke zmírnění negativních dopadů klimatických změn a přizpůsobení lesů budoucím podmínkám jsou zásadní regionální znalosti reakcí a změn lesních ekosystémů (Hlásny et al. 2011b). Správný management lesního hospodaření tak může být zásadní pro zmírnění jak dopadů klimatických změn, tak i klimatických změn celkově (Lindner 2000).

### **3.5 Interakce rostlin a meteofaktorů**

Podnebí, více než jakýkoli jiný faktor, ovlivňuje plošné rozšíření fytoocenóz (Sykes 2009). Klimatické podmínky mají zásadní vliv na ekologické procesy, biologickou rozmanitost a fungování ekosystému, z hlediska rostlinných druhů ovlivňují jak jejich fyziologii, fenologii a rozšíření, tak i vzájemné vztahy. Tyto procesy a vztahy se v důsledku oteplování klimatu mění (Walther 2003).

Fenologie rostlin, periodicky se střídající sled vývojových fází růstu rostlin (např. rašení, olistění, kvetení, zrání plodů a semen), je velmi důležitá pro fungování ekosystémů (Moravec et al. 1994, Piao et al. 2019). Rostlinná fenologie zahrnuje jednotlivé fenologické fáze, jako je rašení listů, kvetení, zralost plodů, reprodukce a žloutnutí a opad listů. Změny ve fenologii rostlinných druhů jsou snadno pozorovatelným a zároveň citlivým ukazatelem změn v biosféře. Ekosystémy v mírném a polárním podnebném pásmu jsou přizpůsobeny cyklu ročních období, které jsou vyvolány sezónními výkyvy teplot a slunečního záření (Walter 2003). Fenologie

rostlin, zejména pak jarní fenologická fáze, je velmi citlivá na teploty přechozích měsíců, a rostliny tak mohou být výborným indikátorem měnících se podmínek prostředí (Menzel & Fabian 1999, Walther 2003). Výzkumy ukazují, že v posledních dekádách dochází u celé řady druhů a na různých geografických lokalitách vlivem klimatického oteplování k dřívějšímu nástupu jarní fenofáze (Walther 2003). Změny podzimní fenofáze nevykazují tak významné trendy, některé výzkumy ale naznačují pozdější začátek podzimu (Menzel et al. 2001, Menzel et al. 2020). Zásadní faktory ovlivňující tyto změny však zatím nejsou zcela známy (Menzel et al. 2001). Změny fenologických fází mohou mít za následek nejen prodloužení vegetačního období, ale mohou vést ke změnám v rozšíření a početnosti druhů (Walther 2003).

U mnoha taxonů a společenstev jsou zaznamenány, v důsledku klimatických změn, posuny rozšíření areálů, a to zejména směrem k vyšším nadmořským výškám a zeměpisným šířkám. V závislosti na vlastnostech a schopnostech jednotlivých druhů dochází buď k expanzi, nebo k zúžení areálů. Některé druhy se dokonce přesouvají do nových geografických oblastí ve snaze sledovat měnící se klimatické podmínky (Parmesan & Hanley 2015). Tyto taxony představují potenciální invazní druhy, které by mohly poškodit původní ekosystémy (Dukes & Mooney 1999).

Nárůst teplot způsobuje i posun složení biologických společenstev ve prospěch teplomilných druhů, což může významně ovlivnit biodiverzitu těchto biocenóz. Tento jev se nazývá termofilizace a v ekosystémech je pozorován stále častěji (např. De Frenne et al. 2013, Zellweger et al. 2019, Zellweger et al. 2020). Bylo zjištěno, že rychlost termofilizace mnohých biologických společenstev, včetně lesních biocenóz, není primárně určena makroklimatickými podmínkami, nýbrž podmínkami mikroklimatickými (De Frenne et al. 2013, Zellweger et al. 2019, Zellweger et al. 2020). V důsledku vegetačního krytu půdy a terénních rozdílů se teplota v přízemní vrstvě může od atmosférické teploty značně lišit (De Frenne et al. 2013). Porostní zápoj dokáže snížit teplotu pod porostem o 1–2 °C, a zároveň umí zvýšit vzdušnou vlhkost. Efekt porostního zápoje tak může dopady změn klimatu na lesní bylinná společenstva značně zmírnit (Zellweger et al. 2020). Toto „klimatické zpoždění“ napomáhá udržení biologické rozmanitosti v podrovných lesních společenstvech (De Frenne et al. 2013), zároveň ale náhlá ztráta korunového zápoje (např. z důvodu odumření stromu) vede ke zvýšenému oteplení, které může způsobit dramatictější změny ve společenstvu (Zellweger et al. 2019, Govaert et al. 2021). Z důvodu zachování a ochrany biologické rozmanitosti by lesníci měli při plánování a realizaci různých hospodářských způsobů brát v úvahu dopady těchto metod na místní mikroklima (Zellweger et al. 2020).

Potenciální důsledky klimatických změn představují závažnou výzvu pro management zachování diverzity společenstev (Skov & Svenning 2004). Rostliny mohou v závislosti na vlastnostech reagovat na negativní změny podmínek prostředí dvěma způsoby, a to přizpůsobením (aklimatizací – v krátkodobém horizontu nebo adaptací – v dlouhodobém horizontu), anebo uniknutím, což v případě rostlin, organismů s přisedlým způsobem života, ve většině případů znamená jejich odumření (Pokorný 2021). Evropské lesní byliny jako skupina organismů s malou schopností šíření a velmi specifickými požadavky na stanoviště (Skov & Svenning 2004) mohou těmito změnami být více ohroženy, i ve spojitosti s vysokou mírou fragmentace lesů na území Evropy, která omezuje rychlost šíření (Collingham a Huntley 2000).

Složitost přírodních společenstev znesnadňuje predikce reakcí druhů na změny klimatu. Reakce jednotlivých rostlin na tyto prediktory se liší v závislosti na jejich migračních, fenologických a kondičních schopnostech (Gilman et al. 2010). Pochopení interakcí mezi klimatickými změnami a dynamikou vegetace bude zásadní otázkou vědeckých výzkumů 21. století (Sykes 2009).

### 3.6 Vybrané vzácné druhy

#### Kručinka barvířská – *Genista tinctoria*

Čeleď: bobovité – *Fabaceae*

Kručinka barvířská je 10–100 cm vysoký beztrnný keřík se vzpřímenými větvemi. Listy podlouhlého tvaru s drobnými palisty jsou přisedlé, na líci lysé. Rub listu je na okraji přisedle řídce chlupatý. Květy sytě žluté barvy se nachází v koncových hroznech. Plodem jsou úzké lusky hnědé barvy se třemi až deseti semeny (Skalická 1995, Chytrý et al. 2021). Z hlediska životních strategií se tento taxon zařazuje mezi stres snášející konkurenční strategy (Klotz et al. 2002) a z hlediska životních forem se začleňuje mezi chamaefyty (Kaplan et al. 2019), ellenbergovské indikační hodnoty tohoto taxonu jsou vypsány v Tabulce č. 1. *Genista tinctoria* se hojně vyskytuje ve světlých doubravách, v okrajových pásích lesů a cest, na chudých loukách a pastvinách a na skalnatých svazích (Skalická 1995, Chytrý et al. 2021).

#### Medovník meduňkolistý – *Melittis melissophyllum*

Čeleď: hluchavkovité – *Lamiaceae*

*Melittis melissophyllum* je vytrvalou bylinou s hypogeogenním oddenkem (Chytrý et al. 2021). Lodyha je přímá, čtyřhranná a obvykle nevětvená, její výška se běžně pohybuje od 20

do 60 cm. Řapíkaté listy mají vejčitý tvar a okraj čepele listu je pilovitý. Tento druh patří mezi hemikryptofyty (Kaplan et al. 2019) a konkurenční strategie (Klotz et al. 2002), ekologické indikační hodnoty zobrazuje Tabulka č. 1. Vyskytuje se na čerstvě vlhkých až vysýchavých půdách se zásaditým pH. Bývá zastoupen především ve společenstvech svazů *Carpinion*, *Fagion* a *Tilio-Acerion* (Chrtek 2000a). Medovník meduňkolistý je zařazen mezi vzácnější taxony vyžadující další pozornost (Grulich & Chobot 2017).

#### Bažanka vytrvalá – *Mercurialis perennis*

Čeleď: pryšcovité – *Euphorbiaceae*

*Mercurialis perennis* je vytrvalým dvoudomým bylinným druhem s dlouhými plazivými oddenky. Lodyhy tohoto druhu jsou přímé, 15–30 cm vysoké a nevětvené. Listy kopinatého tvaru bývají nahloučené v horní třetině až polovině lodyhy. Samčí květenství je klasnaté a složené z drobných žlutozelených nevonných květů. Samičí květy žlutozelené barvy se nacházejí v úžlabních stopkatých květenstvích. Plodem je tobolka (Kubát 1992). Bažanka vytrvalá patří mezi stres snášející konkurenční strategie (Klotz et al. 2002) a zároveň se zařazuje mezi hemikryptofyty (Kaplan et al. 2019), ekologické indikační hodnoty ukazuje Tabulka č. 1. Tento druh se vyskytuje ve stinných humózních a vlhkých listnatých nebo smíšených lesích a je diagnostickým druhem podsvazu *Cephalanthero-Fagenion* (Kubát 1992).

#### Pomněnka lesní – *Myosotis sylvatica*

Čeleď: brutnákovité – *Boraginaceae*

Pomněnka lesní patří mezi vytrvalé a trsnaté bylinné druhy. Bohatě větvené a hustě chlupaté odstále lodyhy dosahují obvykle délky od 20 do 40 cm. Přisedlé lodyžní listy mají vejčitý až eliptický tvar, listy v přízemní růžici jsou řapíkaté s eliptickou až obvejčivou čepelí. Květy s modrými korunními lístky a žlutými cípy pakorunky jsou uspořádány do mnohokvětých vijanů. Plodem jsou tvrdky (Štěpánková 2000). *Myosotis sylvatica* se zařazuje mezi konkurenčně-ruderální stres snášející strategie (Klotz et al. 2002) a mezi hemikryptofyty (Kaplan et al. 2019), ellenbergovské indikační hodnoty jsou zachycené v Tabulce č. 1. Její výskyt je typický ve světlých teplomilných doubravách, květnatých dubohabřinách, bučinách, suťových lesích a častá je i na pasekách. Obvykle je součástí společenstev tříd *Quercio-Fagetea*, *Epilobietea angustifolii* a *Mulgedio-Aconitetea* (Štěpánková 2000).



### Mochna bílá – *Potentilla alba*

Čeleď: růžovité – *Rosaceae*

*Potentilla alba* patří mezi vytrvalé byliny s větveným oddenkem a lodyhami o délce 5–15 cm. Listy jsou přízemní, dlanitě pětičetné a celokrajné, se zuby pouze na vrcholu listu. V kruželovitém květenství se obvykle nachází 1–5 květů s bílými korunními lístky. Plodenství je tvořeno souplodím nažek (Soják 1995). Tento druh patří mezi konkurenčně ruderální stres snášející strategy (Klotz et al. 2002), zároveň se z hlediska životních forem zařazuje mezi hemikryptofty (Kaplan et al. 2019). Ellenbergovské indikační hodnoty tohoto taxonu jsou vypsány v Tabulce č. 1. Mochna bílá se vyskytuje především ve světlých dubových a dubohabrových porostech, ale také v borových porostech, na výslunných stráních a stepních loukách, někdy i na vlhkých loukách. *Potentilla alba* je diagnostickým druhem společenstev svazu *Quercion pubescenti-petraeae* (Soják 1995). Z hlediska ochrany je tento druh zařazen mezi ohrožené druhy – kategorie C3 (Grulich & Chobot 2017).

### Zlatobýl obecný – *Solidago virgaurea*

Čeleď: hvězdnicovité – *Asteraceae*

*Solidago virgaurea* je vytrvalou bylinou s přímou 5–70 cm vysokou lodyhou bez výběžků. Přízemní řapíkaté listy mají obkopynatý až obvejčitý tvar čepele. Listy lodyžní jsou střídavé, řapíkaté na vrcholu špičaté, jejich tvar je kopinatý až eliptický s mělce zubatou čepelí. Žluté úbory s listeny se nacházejí v bohatém či chudém latovitého květenství (Slavík 2004). Zlatobýl obecný se z hlediska životních strategií řadí mezi konkurenční strategy (Klotz et al. 2002) a z pojetí životních forem mezi hemikryptofty (Kaplan et al. 2019), ekologické indikační hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce č. 1. Tento druh se vyskytuje především na křovinatých výslunných stráních a skálách, v sušších světlých lesích, na lesních pasekách a světlinách. Diagnostickým druhem je v borových doubravách svazu *Genisto germanicae-Quercion*, jeho výskyt je častý ale i na stanovištích svazu *Dicrano-Pinion a Luzulo-Fagion* (Slavík 2004).

### Jetel alpský – *Trifolium alpestre*

Čeleď: bobovité – *Fabaceae*

Jetel alpský patří mezi vytrvalé bylinné druhy s přímou až vystoupavou lodyhou o délce 20–50 cm. Řapíkaté lístky mají úzce eliptický nebo kopinatý tvar, na okrajích jsou jemně zubaté až celokrajné. Květní hlávky mají vejcovitý tvar a jsou tvořené purpurovými květy. Tento taxon patří mezi konkurenčně ruderální stres snášející strategy (Klotz et al. 2002) a hemikryptofty

(Kaplan et al. 2019). Ellenbergovské indikační hodnoty tohoto druhu jsou vypsány v Tabulce č. 1. *Trifolium alpestre* se vyskytuje na výslunných travnatých a křovinatých stráních a mezích, dále ve světlých lesích a jejich lemech. Tento druh je vázán na suché neutrální až alkalické půdy a na stanovištích svazů *Geranion sanguinei* a *Quercion pubescenti-petraeae* je diagnostickým druhem (Kubát 1995).

**Tabulka č. 1:** Hodnoty ellenbergovských indikačních hodnot pro vybrané vzácné druhy (Chytrý et al. 2018, Ellenberg et al. 1992). Hodnota „x“ značí širokou ekologickou amplitudu druhu k danému faktoru (Chytrý et al. 2018).

Vybrané druhy	Ellenbergovské indikační hodnoty					
	světlo	teplota	kontinentalita	vlhkost	reakce	živiny
<i>Genista tinctoria</i>	7	6	3	4	6	3
<i>Melittis melissophyllum</i>	6	7	2	4	7	4
<i>Mercurialis perennis</i>	3	5	3	x	7	7
<i>Myosotis sylvatica</i>	6	5	3	5	x	7
<i>Potentilla alba</i>	6	6	5	4	7	4
<i>Solidago virgaurea</i>	6	5	x	5	x	4
<i>Trifolium alpestre</i>	7	6	4	3	7	3

### 3.7 Vybrané dominanty bylinného patra

#### Bělozářka větevnatá – *Anthericum ramosum*

Čeleď: chřestovité – *Asparagaceae*

Bělozářka větevnatá patří mezi vytrvalé byliny s krátkým epigeogenním oddenkem. Běžně tento druh dosahuje výšky až 80 cm. Jednoduché úzké listy tvoří přízemní růžici. Latovité květenství je tvořeno drobnými květy s bílými okvětními lístky a kvetení probíhá od června do srpna. Plodem je tobolka (Skoumalová-Hadáčová & Hrouda 2018). *Anthericum ramosum* náleží do skupiny konkurenčně ruderální stres snášející strategů (Klotz et al. 2002) a geofytů (Kaplan et al. 2019). Ekologické indikační hodnoty pro tento druh jsou vypsány v Tabulce č. 2. Vyskytuje se zejména na výslunných svazích, ve světlých suchých lesích a lesních okrajích, preferuje vápenaté podloží (Skoumalová-Hadáčová & Hrouda 2018). V Červeném seznamu ohrožených druhů České republiky je označena symbolem C4a, patří tedy mezi méně ohrožené vzácnější druhy vyžadující další pozornost (Grulich & Chobot 2017).

### Bukvice lékařská – *Betonica officinalis*

Čeleď: hluchavkovité – *Lamiaceae*

Bukvice lékařská je vytrvalou léčivou bylinou s 20–80 cm vysokou lodyhou, která je v dolní části hustě chlupatá. Řapíkaté listy jsou na bázi srdčité a po celém okraji vroubkované. Květy karmínově červené až růžové barvy jsou uspořádané po 16–20 květech koncového do lichoklasu (Chrtek 2000b). Tento druh se řadí mezi konkurenční strategy (Klotz et al. 2002) a chamaefyty (Kaplan et al. 2019), ellenbergovské indikační hodnoty jsou zobrazeny v Tabulce č. 2. *Betonica officinalis* je charakteristickým druhem teplomilných doubrav a jejich lemů, křovinatých stráních a také luk s kolísající hladinou vody. Výskyt je typický zejména pro společenstva svazu *Molinion* a *Bromion erecti* (Chrtek 2000b).

### Válečka prapořitá – *Brachypodium pinnatum*

Čeleď: lipnicovité – *Poaceae*

*Brachypodium pinnatum* je výběžkatá, až 100 cm vysoká tráva, která často tvoří dominantu bylinných porostů. Lichoklas tvoří šikmo odstáté klásky s krátkými osinami (Skoumalová-Hadáčová & Hrouda 2018). Kolénka jsou hustě až plstnatě chlupatá. Na celé ploše rubu listů se nachází osténky (Kaplan et al. 2019). Válečka prapořitá patří mezi stres snášející konkurenční strategy (Klotz et al. 2002) a z hlediska životních forem se zařazuje mezi hemikryptofyty (Kaplan et al. 2019). Ellenbergovské indikační hodnoty pro tento taxon jsou uvedeny v Tabulce č. 2. Výskyt tohoto druhu je typický v křovinatých stráních, na suchých loukách a ve světlých teplomilných lesích. Je diagnostickým druhem svazů *Quercion pubescenti-petraeae*, *Aceri tatarici-Quercion*, *Festuco-Pinion sylvestris*, *Cirsio-Brachypodion pinnati*, *Bromion erecti* a *Geranion sanguinei* (Chytrý et al. 2021, Kaplan et al. 2019).

### Třtina rákosovitá – *Calamagrostis arundinacea*

Čeleď: lipnicovité – *Poaceae*

Třtina rákosovitá je trsnatý travinný druh tmavozelené barvy. Její výška se pohybuje od 80 do 120 cm. Stébla pod latou s dlouhými osinami jsou drsná (Skoumalová-Hadáčová & Hrouda 2018). Ekologické indikační hodnoty pro tento druh jsou vypsány v Tabulce č. 2. *Calamagrostis arundinacea* je hemikryptofytem (Kaplan et al. 2019) a konkurenčním stratégem (Klotz et al. 2002), který se vyskytuje v dubohabřinách, bučinách a na pasekách a preferuje nevápnitá živnější stanoviště (Skoumalová-Hadáčová & Hrouda 2018). Na stanovištích svazů

*Calamagrostion arundinaceae*, *Salicion silesiaca*, *Quercion petraeae* a *Quercion roboris* je diagnostickým druhem (Chytrý et al. 2021).

#### Zvonek broskvolistý – *Campanula persicifolia*

Čeleď: zvonkovité – *Campanulaceae*

*Campanula persicifolia* je vytrvalou bylinou, jejíž lodyha dosahuje výšky až 80 cm a většinou se nevětví. Přízemní listy mají obvejčitý až obkopynatý tvar, listy lodyžní jsou čárkovitě kopinaté. Květy modré, vzácně až fialově modré barvy se nachází v chudých koncových hroznech. Plodem je tobolka (Kovanda 2000). Tento druh se zařazuje mezi konkurenčně ruderální stres snášející strategy (Klotz et al. 2002) a hemikryptofyty (Kaplan et al. 2019). Ekologické indikační hodnoty zobrazuje Tabulka č. 2. Zvonek broskvolistý se vyskytuje především ve světlých lesích, křovinách a stráních (Kovanda 2000). Půdy preferuje humóznější, vlhké až vysychavé se slabě kyselou až zásaditou půdní reakcí. Typická pro výskyt jsou stanoviště svazů *Carpinion* a *Geranion sanguinei* (Kovanda 2000).

#### Svízel přítula – *Galium aparine*

Čeleď: mořenovité – *Rubiaceae*

Svízel přítula patří mezi jednoleté byliny s čtyřhrannou, přímou až popínavou lodyhou s osténky. Listy obkopynatého tvaru s osténky jsou uspořádány v 5–7 četných přeslenech. Vrcholíkate květenství tvoří 3–9 květů bílé barvy (Kaplan 2000). *Galium aparine* patří mezi konkurenčně-ruderální strategy (Klotz et al. 2002) a terofyty (Kaplan et al. 2019), ekologické indikační hodnoty jsou uvedeny v Tabulce č. 2. Tento hojný druh se širokou ekologickou amplitudou preferuje čerstvě vlhké a kypré půdy s dostatkem živin, roste ale i na vysychavých a chudých stanovištích, proto se vyskytuje na celé škále různých stanovišť (Kaplan 2000).

#### Jestřábník zední – *Hieracium murorum*

Čeleď: hvězdicovité – *Asteraceae*

Jestřábník zední patří mezi vytrvalé byliny s 20–50 cm dlouhou a přímou lodyhou. Listy tvoří přízemní růžici, na lodyze je obvykle přítomen jeden list. Mají většinou vejčitý tvar, na vrcholu špičaté a ve spodní části hrubě zubaté. Květy žluté barvy jsou uspořádané do středně velkých úborů. Plodem je nažka (Chrtek 2004). Tento druh se z hlediska životních strategií řadí mezi konkurenčně ruderální stres snášející strategy (Klotz et al. 2002) a z hlediska životních forem mezi hemikryptofyty (Kaplan et al. 2019). Ellenbergovské indikační hodnoty ukazuje

Tabulka č. 2. *Hieracium murorum* se nachází v listnatých i jehličnatých lesích, na jejich okrajích, ale i na pasekách a světlinách. Obvykle je znám ze společenstev tříd *Querc-Fagetea* a *Guercetea robori-petraeae* (Chrtek 2004).

**Tabulka č. 2:** Hodnoty ellenbergovských indikačních hodnot pro vybrané dominantní druhy (Chytrý et al. 2018, Ellenberg et al. 1992). Hodnota „x“ značí širokou ekologickou amplitudu druhu k danému faktoru (Chytrý et al. 2018).

Vybrané druhy	Ellenbergovské indikační hodnoty					
	světlo	teplota	kontinentalita	vlhkost	reakce	živiny
<i>Anthericum ramosum</i>	7	6	x	3	7	3
<i>Betonica officinalis</i>	6	6	5	x	7	4
<i>Brachypodium pinnatum</i>	6	6	5	4	7	4
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	x	5	4	5	4	5
<i>Campanula persicifolia</i>	5	6	4	4	7	5
<i>Galium aparine</i>	x	6	3	x	6	8
<i>Hieracium murorum</i>	x	5	3	5	5	4

### 3.8 Biologické vlastnosti rostlin

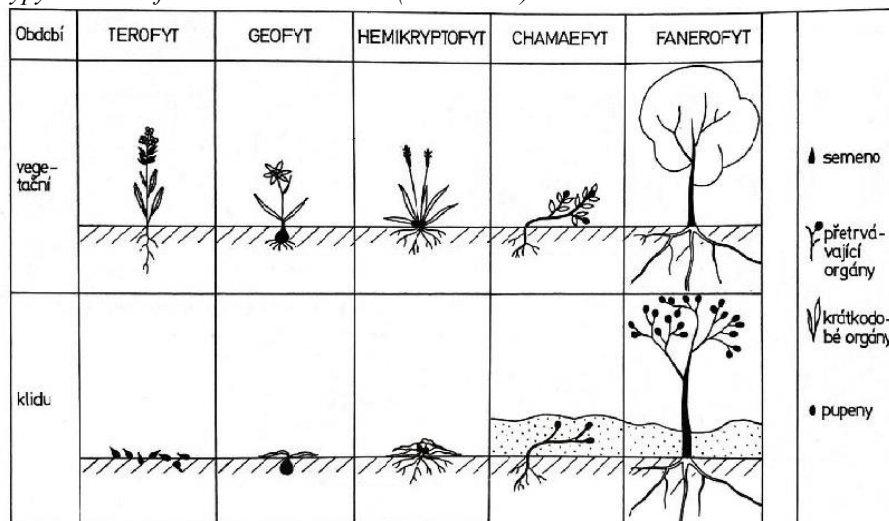
Biologické vlastnosti rostlinných druhů (tzv. biological traits) jsou informace, pomocí kterých lze charakterizovat funkční znaky celého společenstva. Pro účely diplomové práce byly vybrány: ellenbergovské indikační hodnoty, životní formy dle Raunkiäera, životní strategie podle Grimea, Shannonův-Weanerův index diverzity, počet druhů, fenologie, pylový vektor a typ reprodukce.

Ellenbergovské indikační hodnoty (nebo též ekologické indikační hodnoty; Ellenberg et al. 1992) představují souhrn hodnot, které definují vztahy mezi druhy cévnatých rostlin a stanovištěm. Indikační hodnoty vypovídají o postavení jednotlivých druhů vzhledem k jejich požadavkům na životní optimum prostřednictvím základních ekologických faktorů jako je světlo, teplota, kontinentalita, vlhkost, živiny, půdní reakce a salinita. Tento koncept je založen na terénních zkušenostech, které ukazují, že velké množství druhů je vázáno na určitá stanoviště, která vyhovují svými vlastnostmi jejich nárokům (Zelený 2012). Svou přítomností tak druhy indikují ekologické vlastnosti stanoviště. Indikační hodnoty nabývají hodnot na škále od jedné do devíti, pouze salinita je definována deseti stupni a vlhkost dvanácti (Zelený 2012, Chytrý et al. 2018). Ellenbergovské indikační hodnoty se staly v podstatě po celé Evropě nezbytnou součástí vědeckých prací zabývajících se charakteristikou vegetace a hodnocením ekologických podmínek. Zároveň jejich použití může pomoci s vysvětlením ekologických jevů, na které věda při zkoumání vegetace naráží (Zelený 2012). Protože datový soubor Heinze

Ellenberga z roku 1992 byl vytvořen pro západní část střední Evropy, nejsou v tomto souboru obsaženy všechny druhy vyskytující se na území České republiky. Chytrý et al. (2018) rozšířili a upravili původní soubor dat dílčích indikačních hodnot (světlo, teplota, vlhkost reakce, živiny a salinita) pro cévnaté rostliny z České republiky. Hodnoty pro kontinentalitu korekci nepodléhaly, z důvodu odlišného principu jejich zjišťování (Chytrý et al. 2018).

Klasifikační systém životních forem podle Raunkiäera (1905) rozděluje druhy cévnatých rostlin podle umístění obnovovacích orgánů na rostlině v období nepříznivých podmínek pro růst (viz Obrázek č. 2; Moravec et al. 1994). Tento systém vychází z teorie, že strategie ochrany obnovovacích pupenů odráží adaptaci rostliny na (mikro)klimatické podmínky, zejména na extrémní (mráz, sucho; Midolo et al. 2024). Raunkiäerův systém formuluje pět základních kategorií: fanerofyty, chamaefyty, hemikryptofyty, geofyty a terofyty (Moravec et al. 1994). Fanerofyty se vyznačují dřevnatým stonkem a umístěním vegetativních orgánů výše než 0,3 m nad zemí, jedná se tedy o vytrvalé stromy a keře. Podle Klotz et al. (2002) je dále můžeme dělit na makrofanerofyty (pupeny na dřevnatých výhonech, které v mediální až apikální části kmene tvoří korunu), nanofanerofyty (pupeny na dřevnatých výhonech se silným bazálním větvením, bez kmene) a hemifanerofyty (pupeny na dřevnatých bazálně větvených výhonech do výšky 0,5 m – zakrslé keře a polokeře). Chamaefyty, jsou rostliny, jejichž obnovovací pupeny se nachází nad zemí, avšak do výšky 0,3 m. Hemikryptofyty mají obnovovací pupeny uložené těsně nad povrchem půdy, před nepříznivými vlivy jsou chráněné šupinami a odumřelými listy. Mezi geofyty patří vytrvalé rostliny s vegetativními orgány umístěnými pod zemí, které mají většinou podobu zásobních orgánů, např. cibule, oddenky, hlízy. Terofyty jsou jednoleté rostliny, jejichž reprodukce probíhá pouze pomocí generativních diaspor – semena a výtrusy (Klotz et al. 2002).

**Obrázek č. 2:** Typy životních forem dle Raunkiäera (Jeník 1994).



Typ životní strategie popisuje fyziologické vlastnosti druhu v závislosti na schopnosti rozmnožování, produktivitě biomasy, adaptabilitě na určité životní podmínky a schopnosti prosazení v určitých společenstvech (Moravec et al. 1994). Grime (1979), který se zaměřil zejména na přizpůsobení druhů vůči stresovým faktorům a disturbancím, definoval tři hlavní typy strategií (tzv. primární strategie): C-stratégové, S-stratégové a R-stratégové (Moravec et al. 1994). Konkurenční stratégové (C-stratégové) jsou kompetičně silné a vytrvalé druhy, které se vyznačují vysokou energií při tvorbě biomasy. Zároveň tyto druhy potřebují příhodné podmínky prostředí se slabým narušováním. Stres snášející stratégové (S-stratégové) jsou druhy vytrvalé, které jsou schopné odolávat nepříznivým podmínkám extrémních stanovišť. Jejich růst je pomalý, produkce biomasy nízká a schopnost rozmnožování malá. Ruderální stratégové (R-stratégové) mají schopnost odolávat silnému narušováním biomasy a disponují velkou schopností reprodukce, mají však malou schopnost konkurence. Kombinací těchto typů strategií vznikají čtyři přechodové typy (tzv. sekundární strategie): CS-, CR-, SR- A CSR-stratégové (Moravec et al. 1994).

Jako další závislé proměnné, charakterizující vegetaci stanoviště, byly vybrány: Shannonův-Weanerův index, počet druhů, fenologie, pylový vektor a typ reprodukce. Biodiverzitu jako hlavní a souhrnný ukazatel stavu společenstva vyhodnocují a v této práci zastupují dvě proměnné: prostý počet druhů a Shannonův-Weanerův index (*SWI*). *SWI* index je založen na poměru početnosti druhů, zároveň ale uvažuje s vyrovnaností abundancí jednotlivých druhů. Hodnota *SWI* pak vyjadřuje, kolik druhů o shodném množství by vytvořilo stejnou indikační hodnotu tohoto indexu (Jarkovský et al. 2012). Proměnná s názvem fenologie ( fáze kvetení) třídí druhy do skupin taxonů, které kvetou ve stejném období. Jednotlivé skupiny jsou pak klasifikovány číselnou hodnotou od 1 do 10. Pylový vektor rozděluje rostlinné druhy podle typu přenosu pylu. Tento přenos probíhá prostřednictvím velkého množství vektorů, např. prostřednictvím větru, vody nebo pomocí živočichů, převážně hmyzu. V některých případech dochází i ke spontánnímu opylení uvnitř květu.

## 4 METODIKA

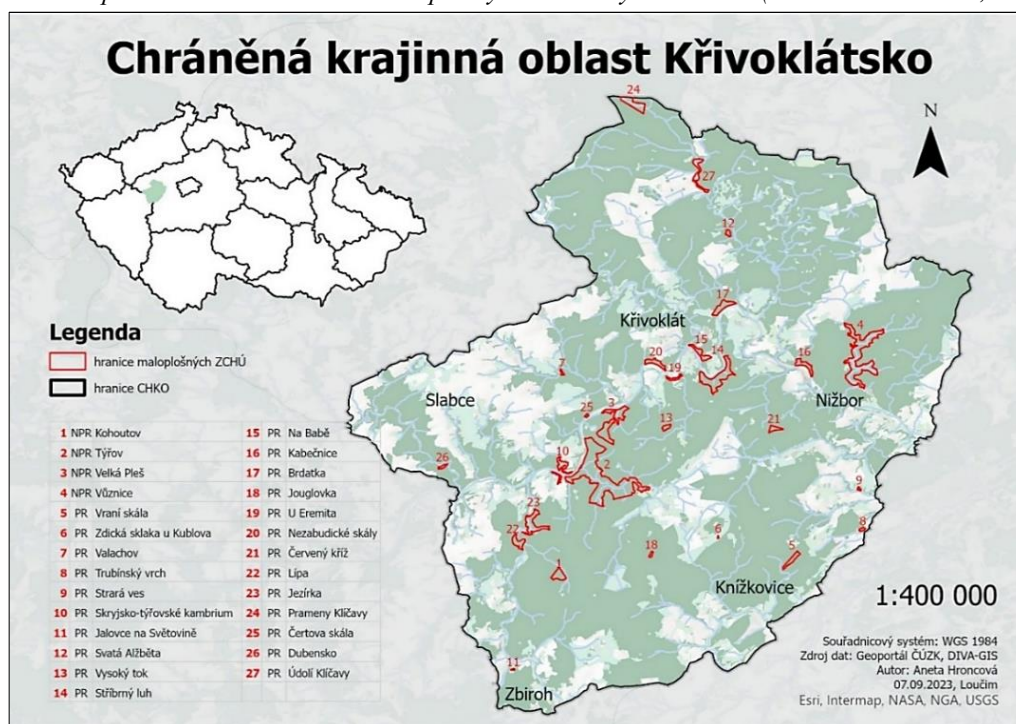
### 4.1 Popis zkoumaného území

#### 4.1.1 Chráněná krajinná oblast Křivoklátsko

Chráněná krajinná oblast Křivoklátsko byla oficiálně vyhlášena dne 24. listopadu 1978 Výnosem o zřízení chráněné krajinné oblasti „Křivoklátsko“ (Ministerstvo kultury ČSR 1978). Zároveň byla celá oblast Křivoklátska pro svůj velký přírodovědný význam dne 1. března 1977 přijata Organizací spojených národů UNESCO za biosférickou rezervaci. Křivoklátsko je ceněné hlavně pro bohatou stanovištní i druhovou rozmanitost flóry a fauny, která je způsobena zejména velkou diferenciací ekologických podmínek a také poměrně malým antropogenním narušením oblasti (Ložek et al. 2005).

CHKO a BR Křivoklátsko se rozprostírá na území Středočeského a Plzeňského kraje a rozloha celé oblasti dosahuje 624,97 km<sup>2</sup> (Agentura ochrany přírody a krajiny ČR 2024, Ložek et al. 2005). Na území CHKO se nachází 4 národní přírodní rezervace a 23 přírodních rezervací (viz Obrázek č. 3). Nadmořská výška se pohybuje od 217 m n. m. do 617 m n. m. s nejvyšším bodem nacházejícím se na vrchu Těchovín. Většina území CHKO se rozkládá na geologickém celku Křivoklátská vrchovina, na západě zasahuje i do severního výběžku Plaské pahorkatiny (Agentura ochrany přírody a krajiny ČR 2024).

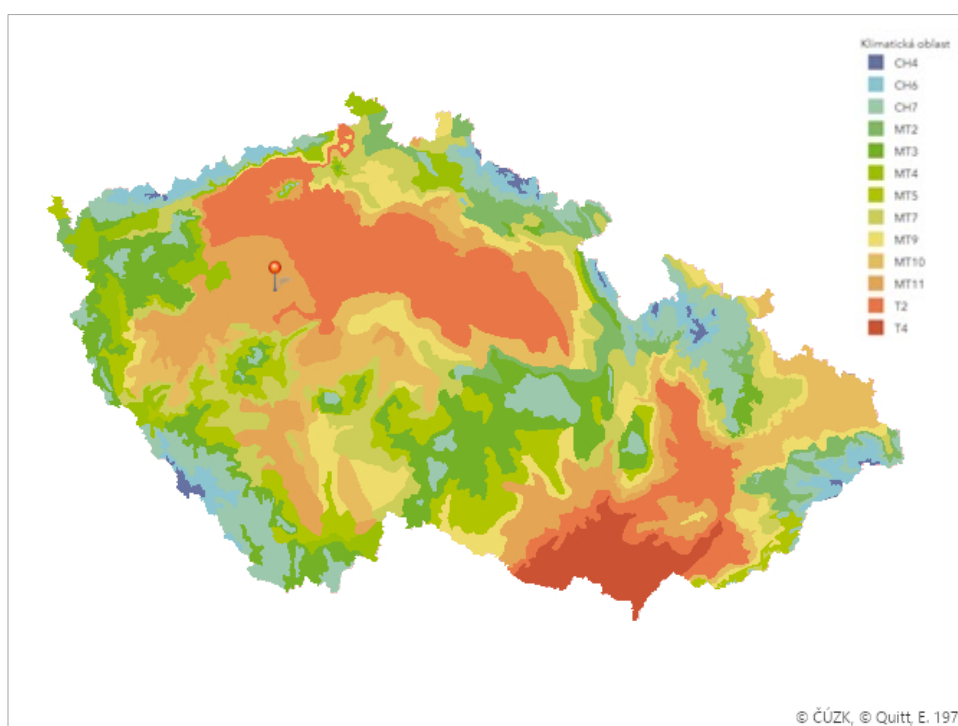
**Obrázek č. 3:** Mapa CHKO Křivoklátsko s maloplošnými chráněnými územími (autor: A. Hroncová, 7. 9. 2023)





Podle klimatické regionalizace dle Quitta (1971) patří území Křivoklátska do mírně teplé klimatické oblasti MT 11 (Obrázek č. 4), která se vyznačuje dlouhým teplým a suchým létem a mírně teplým jarem i podzimem (Ložek et al. 2005, Mandsfeld et al. 2021). Zimy bývají krátké, mírně teplé a suché, sněhová pokrývka obvykle trvá jen krátce (Mandsfeld et al. 2021). Průměrná roční teplota kolísá mezi 7,5–8,5 °C. Oblast není na srážky příliš bohatá, území se nachází na okraji srážkového stínu Krušných hor a průměrné roční srážky se tak pohybují okolo 530 mm. Nejvyšší úhrn srážek připadá na měsíc červenec (cca 80 mm), naopak nejméně srážek spadne v únoru (cca 27 mm; Agentura ochrany přírody a krajiny ČR 2024).

**Obrázek č. 4:** Mapa klimatických oblastí dle Quitta (1971), špendlík znázorňuje PR Červený kříž (zdroj dat: Český úřad zeměměřický a katastrální 2023).



Ráz křivoklátské krajiny vytváří a ovlivňuje řeka Berounka, která meandrovitě protéká celým územím (Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2024). Její kaňonovité údolí se skalními výchozy reprezentuje v rámci Čech nejvíce zachovaný příklad říčního ekofenoménu (Ložek 2011). Tento fenomén je charakteristický různým průběhem teplot a vzdušné vlhkosti v říčním údolí, tím je ovlivňováno mikroklima, které spolu s pestrým geologickým podložím utváří rozmanitou mozaiku stanovišť s vysokou biodiverzitou (Ložek 2000, Ložek et al. 2005). Dalším ekofenoménem, který je pro křivoklátskou krajinu typický, je fenomén vrcholový. Otevřená bezlesí na jižních a jihozápadních stranách vrcholů, která jsou charakteristická pro tento fenomén, se příznačně nazývají termínem „pleše“ (Ložek et al. 2005).

Z hlediska regionální geologie je území Křivoklátska tvořeno dvěma hlavními celky Středočeské oblasti (Bohemika), neoproterozoikem a paleozoikem Barrandienu. Geologická stavba tohoto území je pestrá, neboť se zde nachází jak starší horninové celky ovlivněné vrásněním, tak mladší jednotky, které deformační horotvorné procesy neprodělaly. Podloží území tvoří především droby, břidlice a bazalty (Vorel & Stárková 2011). Charakteristickým půdním typem pro oblast CHKO je modální mezobazická kambizem, která zaujímá asi jednu čtvrtinu celkové plochy území. Tento půdní typ je obvykle písčitohlinitý až hlinitopísčité s podstatnou příměsí štěrku. Dále se na území hojně vyskytují i další typy hnědých půd jako jsou kambizemě oligotrofní, districké a luvické (Mandsfeld et al. 2021). Na strmých svazích a skalních výchozech se nacházejí půdy typu ranker a v mělkých depresích denudačních plošin se objevují především pseudogleje (Ložek et al. 2005, Mansfeld et al. 2021, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR 2024). Podle fyto geografického členění České republiky území CHKO a BR Křivoklátsko náleží do dvou fyto geografických okresů oblasti mezofytika s vegetací a květenou mírného pásma (Skalický 1988). Většina území spadá do fyto geografického okresu 32 – Křivoklátsko, pouze malá severní část území náleží do okresu 30 – Jesenicko-rakovnická plošina (Kolbek et al. 1999).

Květena i vegetace tohoto území je velmi rozmanitá. Více než polovinu plochy Křivoklátska (62 %) zaujímají lesy (Ložek et al. 2005, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR 2024). V dřevinné skladbě převládají jehličnany (54 %), mezi nimiž dominuje smrk ztepilý (*Picea abies*) – 25 % a borovice lesní (*Pinus sylvestris*) – 22 %. Listnaté dřeviny tvoří 46 %, z nichž nejzastoupenějším je dub (*Quercus*) – 19 % (Mandsfeld et al. 2021). Mezi nejvíce zastoupená lesní společenstva Křivoklátska patří černýšové doubravy (*Melampyro nemorosi-Carpinetum*), lipové bučiny (*Tilio cordate-Fagetum*) a habrové javořiny (*Aceri-Carpinetum*). Dalšími významnými biotopy tohoto území jsou světlé teplomilné doubravy svazu *Potentillo albae-Quercetum* a *Genisto germanicae-Quercion* (Ložek et al. 2005). Příčina vysoké lesnatosti souvisí zejména s obtížným terénem pro hospodaření a také historií osídlení oblasti. Oblast Křivoklátska v pravěku ani ve středověku nezasáhla významná kolonizace, rozrůstání průmyslových podniků, dokonce oblastí neprocházely významné komunikace. Zároveň byla tato oblast chráněna před velkou kolonizací existencí významného loveckého hvozdu českých panovníků. Tyto specifické podmínky spolu s ještě specifitějšími přírodními činiteli, jako je podnebí, reliéf terénu a geologické podloží, vedly k zachování charakteristického rázu krajiny a udržení původních přírodních prvků pahorkatin a vrchovin v České republice (Ložek, 2011).

#### 4.1.2 Přírodní rezervace Červený kříž

Přírodní rezervace Červený kříž byla vyhlášena v roce 1989 výnosem ministerstva kultury ČSR (1989) se nachází v katastrálním území Roztoky u Křivoklátsku (okres Rakovník) u křižovatky silnic na Nový Jáchymov, Nižbor a Roztoky. Předmětem ochrany je ekosystém střídavě vysychavé subkontinentální doubravy s mochnou bílou (*Potentilla alba*; Ložek et al. 2005). Cílem ochrany přírodní rezervace je zachování druhově bohatého společenstva mochnové doubravy asociace *Potentillo albae-Quercetum* Libbert 1933 (Ložek et al. 2005), které je ohroženo především sukcesí, ustoupením tradičních způsobů hospodaření a eutrofizací území (Kolbek & Vítková 1999).

**Obrázek č. 5:** Označení hranic PR Červený kříž (A. Hroncová, 27. 6. 2023).



PR Červený kříž se nachází v jihovýchodní části CHKO a BR Křivoklátsko, má trojúhelníkový tvar a její rozloha je 12,6 ha. Hranice přírodní rezervace jsou značené po celém obvodu dvěma červenými vodorovnými pruhy a úředními tabulemi na přístupových cestách (Obrázek č. 5; Hokr 1990). Nadmořská výška území se pohybuje mezi 410 a 425 m n. m. a z geomorfologického hlediska se území nachází na mírně zvlněné náhorní plošině svažité k severozápadu, která je součástí Křivoklátské vrchoviny, okrsku Hudlické vrchoviny (Ložek et al. 2005).

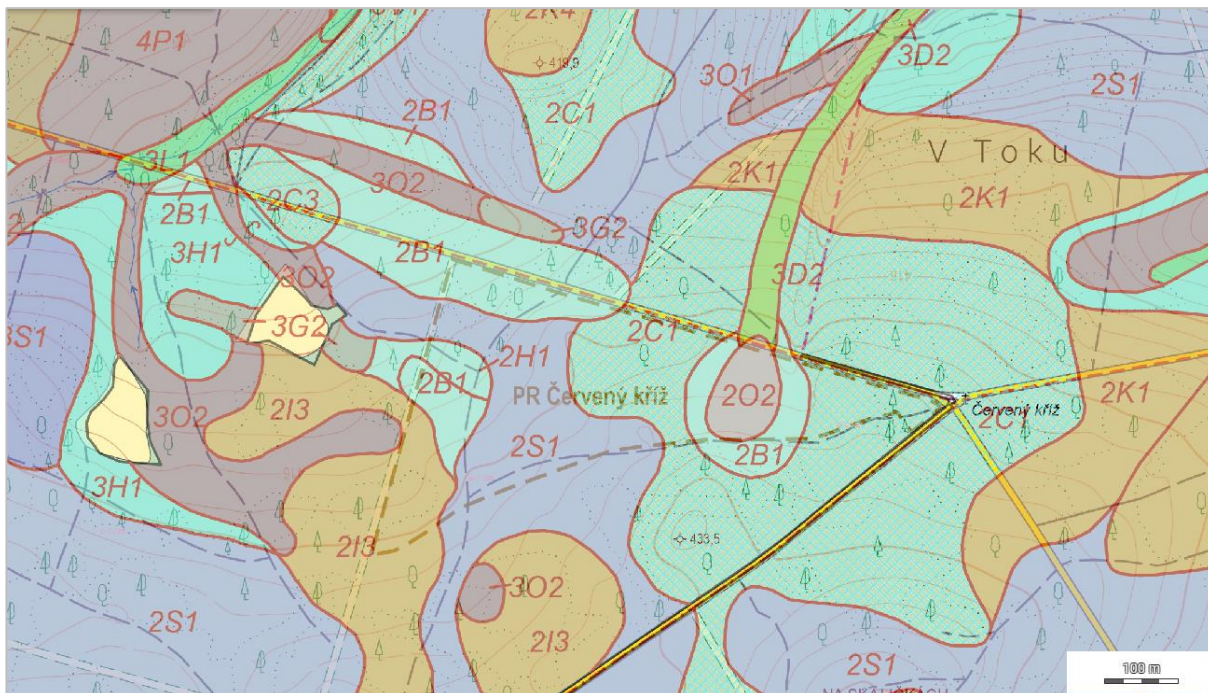
Geologické podloží je tvořeno prachovými břidlicemi, prachovci a jemno až středně zrnitými droby (Hokr 1990). Půdy na území PR jsou mělké a silně skeletovité (Ložek et al. 2005), charakteristickým půdním typem, který se na lokalitě nachází, je ranker kambický (Žigová 2011). Tento půdní typ je typický vysokou mírou skeletovitosti, zároveň jde ale o typ, který naznačuje přechod k vyvinutějším půdám prostřednictvím charakteristického hnědého horizontu Bv (Němeček et al. 2001).

Klimaticky se území zařazuje do klimatického okrsku B5 – mírně teplý (Anonymus 2015). Průměrný roční úhrn srážek v oblasti je 572 mm a průměrná teplota 9 °C (databáze ČHMÚ pro stanice Lány, Neumětely a Karlova Ves; Český hydrometeorologický ústav 2024). Délka vegetační doby by se podle charakteristiky lesní vegetační stupňovitosti měla pohybovat mezi 160–165 dny (Poleno et al. 2007).

Lokalita náleží do fytogeografického okresu 32 – Křivoklátsko, oblasti mezofytika. Z hlediska přírodních lesních oblastí spadá lokalita do oblasti 8 – Křivoklátsko a Český kras.

Přírodní rezervace se nachází ve druhém, tedy v buko-dubovém lesním vegetačním stupni. Na lokalitě se nachází celkem 7 různých souborů lesních typů (viz Obrázek č. 6), z toho nejvíce zastoupené jsou SLT 2S (svěží buková doubrava), 2C (vysýchavá buková doubrava) a 2B (bohatá buková doubrava; Anonymus 2015).

**Obrázek č. 6:** Typologická mapa PR Červený kříž (zdroj dat: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů 2024).



Rostlinné společenstvo světlé teplomilné doubravy, které se na území PR Červený kříž nachází, se zařazuje do svazu *Quercion petraeae*, asociace *Potentillo albae-Quercetum* (mochnové doubravy). Dominantu stromového patra tvoří dub zimní (*Quercus petraea*), příměs představuje habr obecný (*Carpinus betulus*), lípa srdčitá (*Tilia cordata*) a jeřáb břek (*Sorbus torminalis*; Ložek et al. 2005). V severozápadní části rezervace se nachází vysazené kultury borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a modřínu opadavého (*Larix decidua*; Kučera 1993). Keřové patro je málo vyvinuté, významněji se zmlazuje pouze habr obecný (*Carpinus betulus*). Hlavní porost byl v minulosti obhospodařován pařezinovým způsobem hospodaření, jde tedy o nepravou kmenovinu (Ložek et al. 2005).

Bylinné patro tohoto společenstva je velmi pestré (Obrázek č. 7). Při inventarizačních průzkumech zde bylo zjištěno na 150 druhů cévnatých rostlin (Ložek et al. 2005, Příbyl 2018). Společenstva mochnových doubrav charakterizují především druhy střídavě vlhkých půd, zejména bukvice lékařská (*Betonica officinalis*), srpice barvířská (*Serratula tinctoria*) a svízel severní (*Galium boreale*; Kolbek et al. 2003). Dále se na této lokalitě vyskytuje silně ohrožený plicník úzkolistý (*Pulmonaria angustifolia*), ale také neméně důležité ohrožené druhy jako lilie



zlatohlavá (*Lilium martagon*), medovník meduňkolistý (*Melittis melissophyllum*), mochna bílá (*Potentilla alba*), vemeník dvoulistý (*Platanthera bifolia*), kyčelnice devítelistá (*Dentaria enneaphyllos*) a tomkovice jižní (*Hierochloë australis*; Příbyl 2018).

Z důvodu výzkumu vysoce ceněné a v celé střední Evropě ohrožené vegetace, doc. RNDr. Jiří Kolbek, CSc., DSc. pod záštitou Botanického ústavu AV ČR Průhonice, roku 1993 založil na území přírodní rezervace trvalou monitorovací plochu (Kolbek 2011). Velikost plochy je přibližně 100 × 50 m a je po celém svém obvodu oplocena. (Příbyl 2018). Plocha je zároveň i v bezzásahovém režimu, je tedy vyloučen jak vliv zvířete, tak i člověka. Ke zjištění míry vlivu zvířete na vegetaci byla v roce 2017 zřízena plocha kontrolní, která se nachází v těsném sousedství mimo plochu oplocenou. Na těchto dílčích územích probíhá každoročně monitoring bylinné vegetace.

**Obrázek č. 7:** Fotografie z oplocené plochy v PR Červený kříž (A. Hroncová, 27. 6. 2023).



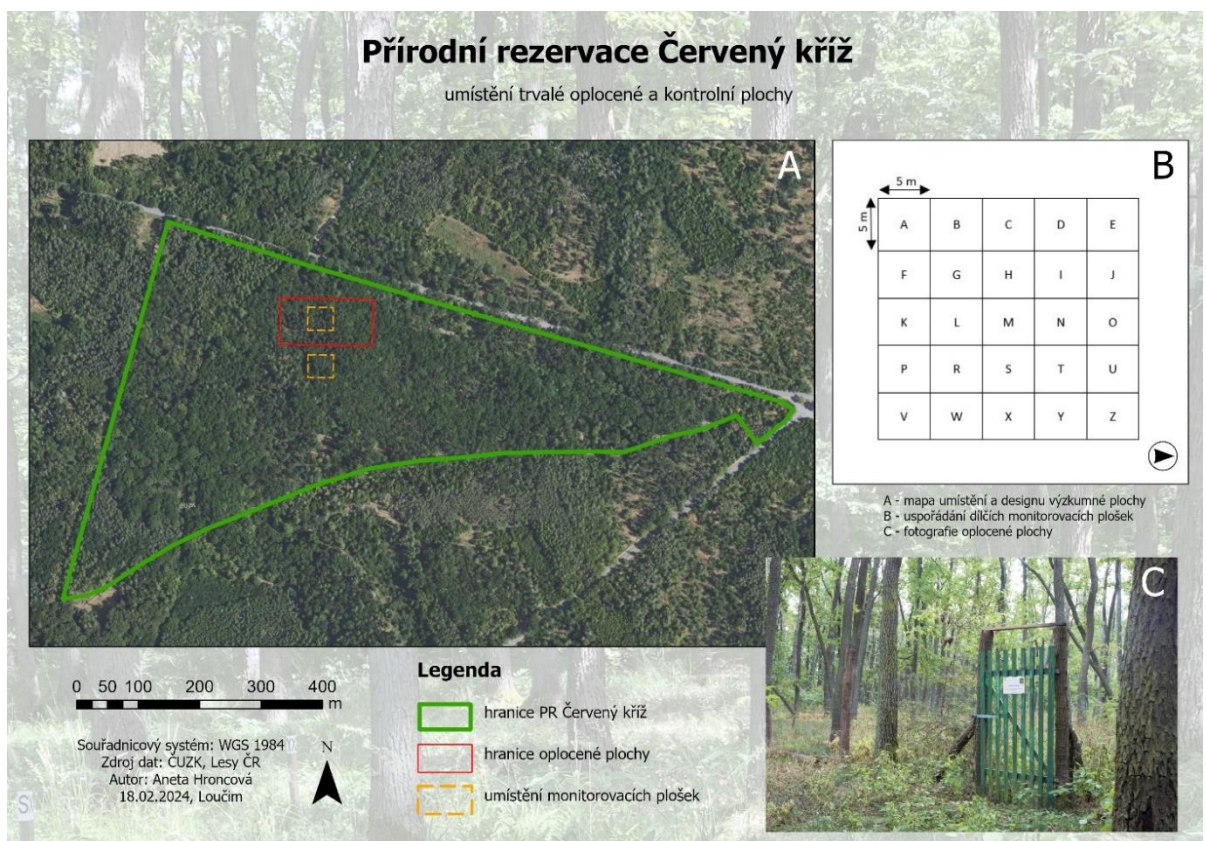


## 4.2 Sběr dat v terénu

Monitoring vegetace v podobě fytoocenologického snímkování probíhal v PR Červený kříž každoročně od roku 1993, výjimkou byl pouze rok 2014, kdy se snímkování z organizačních důvodů neuskutečnilo. Monitoring byl prováděn vždy na konci měsíce června, a to na dílčí části trvalé výzkumné plochy Botanického ústavu AV ČR Průhonice. Snímkování započal v roce 1993 doc. RNDr. Jiří Kolbek, CSc., DSc., který sám v realizaci pokračoval až do roku 2001. Mezi lety 2002 a 2006 se na monitoringu s doc. Kolbekem společně podíleli Ing. Karel Boublík, Ph.D., Mgr. Tomáš Černý, Ph.D. a RNDr. Petr Petřík, Ph.D., a od roku 2007 až dosud snímkování provádí pouze Boublík, Černý a Petřík. V letech 2021, 2022 a 2023 se na fytoocenologickém snímkování podílela i autorka této práce, která dále získaná data převáděla do digitální podoby.

Výzkumná plocha je v bezzásahovém režimu a zároveň je trvale oplocena, je zde tedy vyloučen jak vliv člověka, tak i zvěře. Kontrolní plocha k ploše oplocené byla založena až v roce 2017 a nachází se v její těsné blízkosti (Obrázek č. 8). Na obou plochách, na výzkumné i kontrolní, je vytvořena síť 25 dílčích čtvercových plošek o velikosti  $5 \times 5$  m ( $25 \text{ m}^2$ ). Tyto plošky jsou vymezené dřevěnými kůly s označením A-Z.

**Obrázek č. 8:** Mapa umístění a designu trvalé oplocené a kontrolní plochy (autor: A. Hroncová, 2024).



Při fytoocenologickém snímkování byla vegetace odečítána na dílčích ploškách ve čtyřech patrech, podle vertikální struktury lesního ekosystému: mechové – E<sub>0</sub>, bylinné – E<sub>1</sub>, keřové – E<sub>2</sub> a stromové – E<sub>3</sub>. V bylinném patře (E<sub>1</sub>) byly na každé jednotlivé plošce zaznamenány vždy všechny vyskytující se druhy a následně došlo k odhadu jejich pokryvnosti pomocí rozšířené sedmičlenné Braun-Blanquetovy stupnice (Tabulka č. 3). Hlavním předmětem monitoringu bylo po celou dobu výzkumu patro bylinné (E<sub>1</sub>), proto se u patra mechového (E<sub>0</sub>) a keřového (E<sub>2</sub>) zaznamenávala pouze celková pokryvnost konkrétního patra. Stromové patro (E<sub>3</sub>), pro jeho minimální proměnlivost, zaznamenáváno nebylo.

Terénní data za období 1993–2021 (kromě roku 2014) byla vyhodnocena v rámci bakalářské práce, k těmto datům byla přidána a zpracována data terénních šetření z let 2022 a 2023. Celkově jsou tedy k dispozici terénní data za období 30 let dlouhé časové řady monitorování vegetace. Dohromady vzniklo 750 snímků z oplocené výzkumné plochy a 175 snímků z plochy kontrolní se zjištěnými 124 taxony cévnatých rostlin.

*Tabulka č. 3: Rozšířená Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti (Barkman et al. 1964).*

Stupeň	Pokryvnost	
5	75–100 %	
4	50–75 %	
3	25–50 %	
2	5–25 %	
	2m	kolem 5 %
	2a	5–15 %
	2b	15–25 %
1	do 5 %	
+	zanedbatelná, výskyt roztroušeně	
r	ojedinělý výskyt	

Z terénních dat oplocené výzkumné plochy za celé sledované období (1993–2023) byly ještě vyexportovány průměrné roční pokryvnosti čtrnácti vybraných druhů, které byly následně podrobeny dílčím analýzám. Mezi tyto druhy bylo zahrnuto sedm dominantních druhů (*Betonica officinalis*, *Campanula persicifolia*, *Anthericum ramosum*, *Galium aparine*, *Hieracium murorum*, *Brachypodium pinatum* a *Calamagrostis arundinaceae*) a sedm vzácnějších druhů s nízkou pokryvností (*Genista tinctoria*, *Melittis melissophyllum*, *Solidago virgaurea*, *Potentilla alba*, *Trifolium alpestre*, *Myosotis sylvatica* a *Mercurialis perennis*).

### 4.3 Meteorologická data

Data o měsíčních klimatických charakteristikách byla získána z online databáze Českého hydrometeorologického ústavu (Český hydrometeorologický ústav 2024) pro tři meteorologické stanice nejbližší k výzkumné lokalitě: Neumětely, Lány a Karlova Ves. Před samotným výpočtem klimatických proměnných byla data exportována a upravena v prostředí tabulkového procesoru Microsoft Excel.

Jako klimatické (nezávislé) proměnné byly vybrány a vypočítány průměrné měsíční teploty a sumy srážek za období: duben–červen, prosinec–březen a duben–září v předchozím roce. Tato období byla zvolena tak, aby pokrývala, ale zároveň rozdělovala, možná období, na které by celé společenstvo, ale i jednotlivé rostliny, mohly reagovat. Zároveň je prokázáno, že klimatické extrémny jsou pro růst a vitalitu rostlin často významnější než dlouhodobé průměry (Jentsch et al. 2007), a proto budou prediktory za kratší období pro zkoumání změn ve vegetaci vhodnější. Jako další nezávislé proměnné byly zvoleny dva klimatické indexy, Standardizovaný srážkový index (*SPI*) a Ellenbergův klimatický kvocient (*ECQ*). I tyto indexy byly vypočítány z dat získaných z databáze ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav 2024).

Standardizovaný srážkový index (Standardized Precipitation Index – *SPI*) je mezinárodně normalizovaný index vyvinutý pro popis meteorologického sucha (McKee et al. 1993). Princip *SPI* je založen na prostém poměru úhrnů srážek. Podstatou statistických výpočtů, které stanovují intenzitu sucha, je porovnání celkového úhrnu srážek za období 1, 2, 3, 6, 12 nebo 24 měsíců s daty ze stejných období v minulosti (Svoboda et al. 2012). Ideálním souborem dat pro hodnocení sucha pomocí tohoto indexu je souvislé období delší než 30 let. Intenzitu sucha definuje rozdělení *SPI* hodnot do čtyř kategorií, viz Tabulka č. 4. Čím vyšších (pozitivních) hodnot tento index nabývá, tím je charakter počasí vlhčí a chladnější, naopak čím index nabývá zápornějších hodnot, tím je počasí sušší a teplejší. Po zpracování měsíčních klimatických proměnných do požadované datové struktury byl pomocí softwaru *SPI Generator ver. 1.7.5*. (National Drought Mitigation Center 2018) vypočítán tento index pro období 3, 6 a 12 měsíců.

**Tabulka č. 4:** Klasifikace *SPI* hodnot do kategorií sucha podle McKee et al. (1993).

Hodnoty <i>SPI</i>	Kategorie sucha
0 až -0,99	mírné sucho
-1,00 až -1,49	střední sucho
-1,50 až -1,99	velké sucho
$\leq -2,00$	extrémní sucho



Ellenbergův klimatický kvocient (*ECQ*) je velice jednoduchý a snadno aplikovatelný bioklimatický index, ve srovnání s modernějšími klimatickými modely je tento méně mechanistický. Jeho hodnota je stanovena jako tisícem vynásobený podíl průměrné teploty nejteplejšího měsíce – července (v °C) a ročního úhrnu srážek za rok (mm.rok<sup>-1</sup>; Ellenberg 1963). Čím vyšší nabývá kvocient hodnoty, tím je klima teplejší a sušší. Tento index byl odvozen z pozorování přírody a nepřímo vyjadřuje vztah mezi klimatem a vegetací. Na základě několika úspěšných studií z České republiky (např. Dujka & Kusbach 2023) i zahraničí (např. Jensen et al. 2004), které zkoumaly využitelnost *ECQ*, můžeme říci, že použití toho indexu jako prediktoru změn ve vegetaci je z ekologického hlediska opodstatněné.

#### 4.4 Biologické vlastnosti společenstva

Jako závislé proměnné, charakterizující biologické vlastnosti společenstva (tzv. biological traits), byly vybrány ellenbergovské indikační hodnoty, životní formy dle Raunkiäera, životní strategie podle Grimea, Shannonův-Weanerův index diverzity, počet druhů, fenologie, pylový vektor a typ reprodukce. Tyto proměnné byly vypočítány jako vážený průměr hodnot jednotlivých vlastností z dat o taxonech v dílčích fytoocenologických snímcích. Další závislé proměnné představují pokryvnost bylinného patra a počet druhů ve snímku.

Ellenbergovské indikační hodnoty vyjadřují ekologické nároky druhů na prostředí (Ellenberg et al. 1992). V této práci byly použity indikační hodnoty pro tyto faktory: světlo, teplota, kontinentalita, vlhkost, půdní reakce a živiny. Ekologické indikační hodnoty pro jednotlivé faktory nabývají hodnot na škále od jedné o devíti, pouze vlhkost je definována dvanácti stupni (Zelený 2012, Chytrý et al. 2018). Životní formy dle Raunkiäera rozdělují druhy cévnatých rostlin podle umístění obnovovacích orgánů na rostlině (Moravec et al. 1994). V diplomové práci bylo použito rozdělení do následujících kategorií: hemifanerofyty, makronanerofyty, nanofanerofyty, chamaefyty, hemikryptofyty, geofyty a terofyty. Životní strategie podle Grimea popisují ekologické strategie rostlin (Moravec et al. 1994). V práci byly zastoupeny jak druhy s primární strategií (C, S, R), tak i se sekundární (CS, CR, SR a CSR).

Jako další závislé proměnné, charakterizující vegetaci stanoviště, byly vybrány: Shannonův-Weanerův index, počet druhů, fenologie, pylový vektor a typ reprodukce. Biodiverzitu jako hlavní a souhrnný ukazatel stavu společenstva vyhodnocují a v této práci zastupují dvě proměnné: prostý počet druhů a Shannonův-Weanerův index (*SWI*). Proměnná s názvem fenologie třídí druhy do skupin taxonů, které kvetou ve stejném období. Jednotlivé

skupiny jsou pak klasifikovány číselnou hodnotou od 1 do 10 (1 – předjaří, 2 – začátek časného jara, 3 – konec časného jara, 4 – začátek plného jara, 5 – konec plného jara, 6 – začátek časného léta, 7 – konec časného léta, 8 – plné léto, 9 – časný podzim, 10 – podzim; Klotz et al. 2002, Chytrý et al. 2021). Pylový vektor je proměnná, která člení rostlinné druhy podle převládajícího typu přenosu pylu. V této práci byly použity tři vektory, které u rostlinných druhů vyskytujících se v výzkumné ploše převládají: vítr, hmyz a samoopylení (selfing). Poslední závislá proměnná, typ reprodukce, člení rostliny podle převládajícího typu rozmnožování. U rostlinných druhů rozlišujeme dva typy reprodukce, a to generativní (semeny) a vegetativní (vegetativními orgány – např. oddenky, hlízy, cibule, šlahouny). Tato proměnná klasifikuje preference jednotlivých druhů číselnou hodnotou od 1 do 5, přitom jednotlivé hodnoty mají následující význam: 1 – pouze generativně, 2 – převážně generativně, zřídka vegetativně, 3 – generativně i vegetativně, 4 – převážně vegetativně, zřídka generativně, 5 – pouze vegetativně (Klotz et al. 2002).

Výchozím zdrojem dat pro životní formy dle Raunkiäera, životní strategie podle Grimea, fenologii, pylový vektor a typ reprodukce byla databáze biologicko-ekologických charakteristik flóry – BiolFlor (Klotz et al. 2002). Tento online informační systém, který vznikl v Německu, obsahuje bezmála 3660 druhů cévnatých rostlin a více než 60 biologických vlastností (Klotz et al. 2002). Ellenbergovy indikační hodnoty byly převzaty z nového souboru ekologických indikačních hodnot pro českou flóru (Chytrý et al. 2018), pouze hodnoty pro kontinentalitu byly převzaty z původního datového souboru Ellenberg et al. (1992).

#### **4.5 Digitalizace a zpracování terénních dat**

Terénní zápisy fytoecologických snímků byly přepsány a uloženy do databáze vegetačních dat programu TURBOVEG for Windows ver. 2.140b (Hennekens & Schaminée 2001). TURBOVEG je nástrojem pro správu vegetačních databází, který umožňuje zadávání, ukládání, úpravu a export vegetačních snímků (Hennekens & Schaminée 2001). Původně byl tento software vytvořen pro účely národní klasifikace vegetace v Nizozemsku, pro jeho jednoduchost, všestrannost a multifunkčnost byl však v roce 1994 přijat jako mezinárodní standartní systém pro správu vegetačních dat a v dnešní době je používán ve více než 30 zemích v Evropě i mimo ni (Schaminée et al. 2009).

Další zpracování a úprava dat probíhala v programu JUICE (Tichý 2002). Tento program slouží jako multifunkční editor velkých datových souborů fytoecologických snímků, který je

zároveň vybaven pokročilými klasifikačními a parametrizačními funkcemi. JUICE byl vyvinut v roce 1998 na Masarykově univerzitě v Brně, kde je od tohoto roku také neustále aktualizován (Tichý 2002).

Práce v programu JUICE zahrnovala nejprve úpravu souboru primárních dat, zejména kontrolu seznamu druhů, sjednocení nomenklatury a případně korekci chybných zápisů. Poté byly provedeny výpočty vážených průměrů vybraných biologických parametrů (ellenbergovské indikační hodnoty, životní formy podle Raunkiäera, životní (CSR) strategie, fenologické skupiny, pylový vektor a typ reprodukce) na plochách dílčích fytoocenologických snímků za celé období snímkování vegetace 1993–2023. Shannonův-Weanerův index biodiverzity, počet druhů a pokryvnost bylinného patra ve snímku, jejichž hodnoty byly vypočítány pomocí funkcí programu JUICE, byly pro stejné období jednoduše vyexportovány.

Převod terénních dat z období 1993–2021 do digitální podoby a výpočty všech závislých proměnných byly náplní bakalářské práce (Hroncová 2022). Vegetační snímky z let 2022 a 2023 byly zdigitalizovány a zpracovány v roce 2023, při přípravě dat na navazující diplomovou práci. Ve stejném roce došlo i k dílčím výpočtům všech závislých proměnných.

## 4.6 Statistické analýzy

Veškeré statistické analýzy byly provedeny v programu R verze 4.2.1. (R Core Development Team 2022). Analýzy zhotovené v této práci volně navazují na bakalářskou práci, kde byl proveden prvotní screening potenciálních klimatických signálů v odpovědích vegetace v podobě jednoduchých regresních závislostí počítaných izolovaně pro každou výzkumnou plochu (Hroncová 2022). Pro následující analýzu byly použity složitější prostorově explicitní modely, které zohledňují závislost mezi iterovanými pozorováními totožného subjektu a zároveň přitom zachovávají nezávislost mezi subjekty (Pekár & Brabec 2012).

S cílem objasnění vztahů mezi bylinnou vegetací a klimatem byla provedena série jednoduchých lineárních modelů se smíšenými efekty. V analýze bylo hodnoceno celkem 38 proměnných. Závislé proměnné představovaly vybrané biologické parametry společenstva (28 proměnných): ellenbergovské indikační hodnoty (světlo, teplota, kontinentalita, vláha, půdní reakce, obsah živin), životní formy podle Raunkiäera (geofyty, hemikryptofyty, chamaefyty, hemifanerofyty, makrofanerofyty, nanofanerofyty, terofyty), Shannonův-Weanerův index biodiverzity, životní strategie (C, CR, CS, CSR, R, S), fenologické skupiny, pylový vektor (vítr, hmyz, samoopylení), typ reprodukce (generativně/vegetativně), pokryvnost

bylinného patra a počet druhů ve snímku. Jako nezávislé proměnné (prediktory) vystupovaly proměnné charakterizující počasí (10 proměnných): teploty a sumy srážek ve vybraných obdobích roku (duben–červen, prosinec–březen, a duben–září v předchozím roce), *SPI* (za 3, 6 a 12 měsíců) a *ECQ* (Ellenbergův klimatický kvocient). Tyto modely byly vypočítány pomocí funkce *lme* ze statistického balíčku *nlme* (Pinheiro et al. 2021). Dále bylo potřeba nainstalovat závislé a podpůrné balíčky: *adespatial* (Dray et al. 2023), *car* (Fox & Weisberg 2019), *r2glmm* (Jaeger 2017).

Pevná složka testu byla tvořena biologickým parametrem a klimatickou proměnnou (např. `cover1 ~ mtemp4_6`), náhodný efekt tvořil čas a prostor (`~year|series`). Argument *correlation* byl nastaven na sférickou prostorovou korelační strukturu. Při neproběhnutí testu z důvodu malého počtu opakování byly navýšeny maximální počty iterací optimalizačního kroku funkce *lme* (*msMaxIter*) a maximální počty vyhodnocení účelové funkce (*msMaxEval*) z implicitních nastavení na následující hodnoty: *msMaxIter*=200, *msMaxEval*=500. Pokud ani tento krok nezajistil správné proběhnutí testu, byl pro konstrukci modelu zvolen alternativní optimalizátor “*optim*“ (implicitně je nastaven optimalizátor “*nlinb*“). Pro výpočet koeficientu determinace ( $R^2$ ) byla použita funkce *r2beta* z balíčku *r2glmm* (Jaeger 2017).

Ukázkové kompletní zadání výpočetní procedury v prostředí programu R je následující:

```
modell<-lme(cover1 ~ mtemp4_6, data = Cervkriz_data, random =
  ~year|series, correlation = corSpher (form = ~X+Y/year|series,
  nugget = T), control = list (msMaxIter = 200, msMaxEval=500, opt =
  "optim"))

summary (modell)
Anova (modell,type = 3)
r2beta (modell, method = "sgv", data = Cervkriz_data)
plot (cover1~mtemp4_6, data = Cervkriz_data)
abline (77.69, -1.26, col = "blue", lwd = 2)
```

Tato analýza byla provedena se třemi soubory dat: oplocená plocha za období 30 let (1993–2023), oplocená plocha za období sedm let (2017–2023) a kontrolní plocha za období sedm let (2017–2023). Oplocená plocha za sedm let byla analyzována z důvodu přezkoumání vlivu zvěře na kontrolní neoplocenou plochu. Analýza proměnných jedné datové matice oplocené plochy zahrnovala 270 testů, analýza proměnných datové matice plochy neoplocené zahrnovala 260 testů z důvodu chybějících hodnot u jedné ze závislých proměnných. Celkem

bylo zhotoveno 800 lineárních regresních modelů se smíšenými efekty a bylo vytvořeno 800 jednoduchých grafů pro lepší pochopení závislostí.

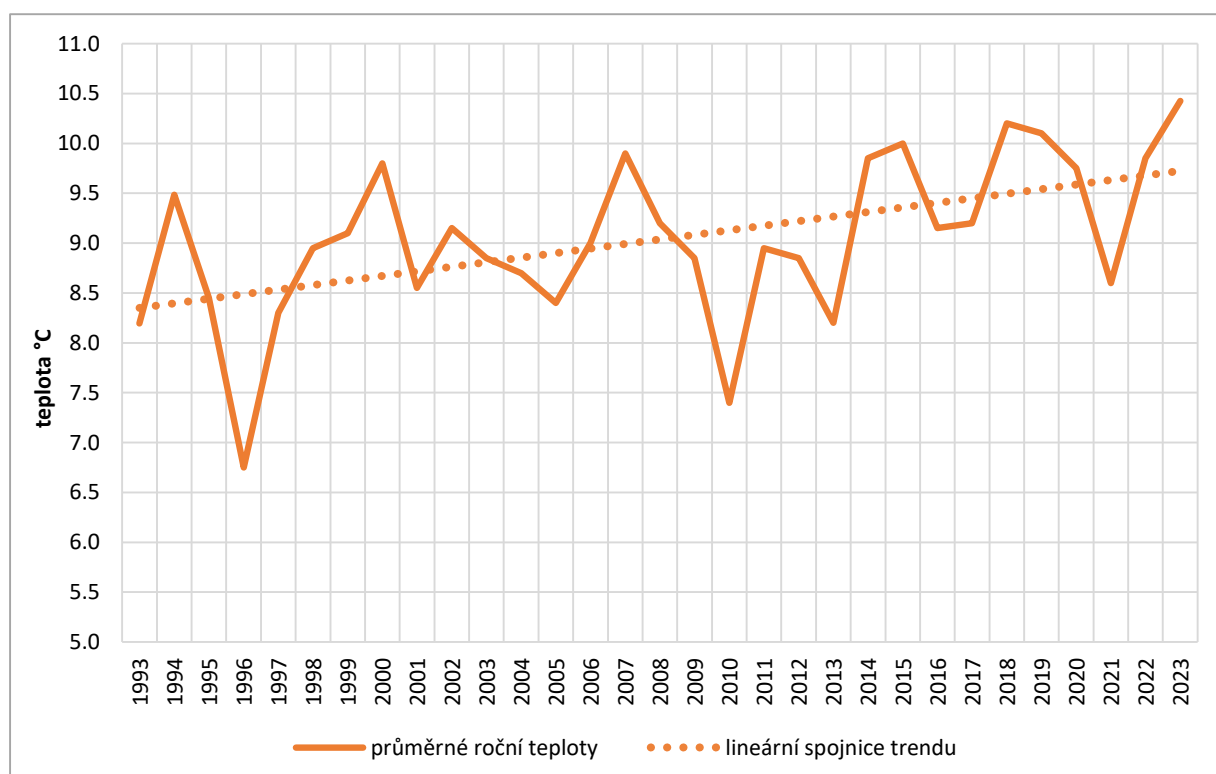
Další provedenou analýzou byla lineární regresní analýza, jejíž cílem bylo objasnit závislost meziročních fluktuací v pokryvnostech vybraných druhů (vzácných druhů a dominant) na klimatických nezávislých proměnných (prediktorech). Tato analýza byla uskutečněna pomocí funkce *lm*. Síla závislosti mezi proměnnými v dílčích modelech byla určena pomocí adjustovaného koeficientu determinace (Adjusted R<sup>2</sup>) vzhledem k počtu stupňů volnosti statistického modelu. Pro každý druh bylo provedeno deset lineárních regresí, celkem tedy bylo realizováno 140 statistických modelů (deset klimatických prediktorů a 14 druhů). Tyto modely by měly ukázat, jak vybrané vzácné druhy a dominanty reagují svou abundancí na měnící se klimatické podmínky stanoviště.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Průběh meteorologických charakteristik

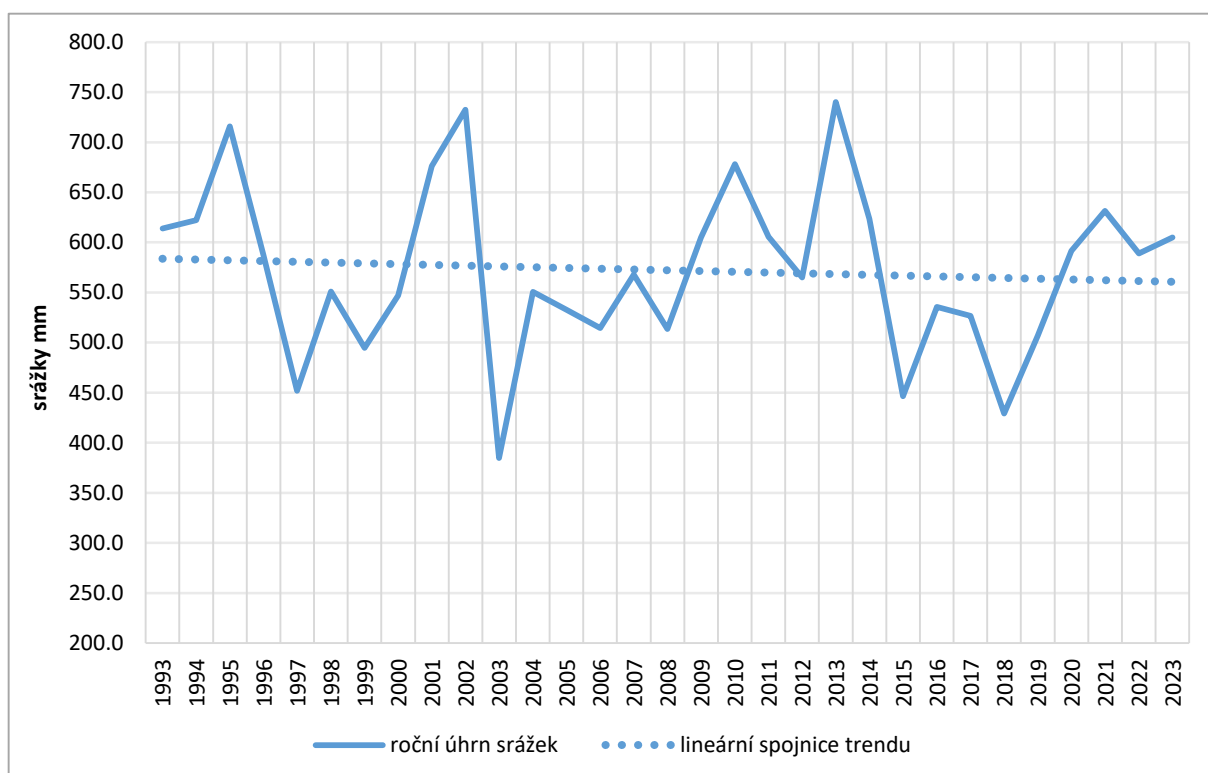
Základní meteorologické charakteristiky okolí lokality PR Červený Kříž za období 1993–2023 znázorňují grafy zpracované v programu MS Excel (Graf č. 1, Graf č. 2). Lineární spojnice trendů naznačují stoupající nebo klesající tendence jednotlivých prediktorů. Průměrná roční teplota regionu za celé sledované období je 9 °C a průměrný roční úhrn srážek činí 572 mm.

Graf č. 1 zachycuje průběh průměrných ročních teplot v rozsahu celého sledovaného období. Na grafu můžeme pozorovat mimořádně teplé roky, jejichž průměrná roční teplota neklesla pod 9,5 °C. Těchto extrémních průměrných ročních hodnot dosahují roky 1994, 2000, 2007, 2014, 2015, 2018, 2019, 2020, 2022 a 2023. Naopak mezi nejchladnější roky celé časové řady, jejichž průměrné roční teploty nepřesáhly 7,5 °C, patří roky 1996 a 2010. Lineární spojnice trendu ukazuje, že od roku 1993 se hodnoty průměrných ročních teplot neustále zvyšují. Za 30 let výzkumu je pozorován nárůst teplot přibližně o 1,3 °C.



**Graf č. 1:** Graf chodu průměrných ročních teplot vypočítaných z měsíčních hodnot historické databáze meteorologických stanic Lány, Neumětely a Karlova Ves v letech 1993–2023 proložený lineární spojnicí trendu (Zdroj dat: Český hydrometeorologický ústav 2024).

Graf č. 2 zobrazuje roční úhrny srážek celého sledovaného období. Můžeme vidět, že nejméně srážek spadlo v letech 1997, 1999, 2003, 2015 a 2018. V těchto letech spadlo za rok méně než 500 mm srážek. Naopak roky 1995, 2002, 2010 a 2013 byly na srážky nejbohatší a napršelo více než 650 mm. Trend lineární spojnice není u srážek tak výrazný jako u teplot, nicméně naznačuje mírnou klesající tendenci.



**Graf č. 2:** Graf průběhu ročních úhrnů srážek vypočítaných z měsíčních hodnot historické databáze meteorologických stanic Lány, Neumětely a Karlova Ves v letech 1993–2023 proložený lineární spojnicí trendu (Zdroj dat: Český hydrometeorologický ústav 2024).

Vyhodnocení klimatických indexů ukazuje Tabulka č. 5. *SPI* indexy byly vyhodnoceny pro období 3, 6 a 12 měsíců (*SPI3*, *SPI6*, *SPI12*). V tabulce jsou výsledné hodnoty tohoto indexu barevně odlišeny podle intenzity sucha (legenda kategorií v Tabulce č. 5). Nejvyšší hodnoty, zařazené do kategorie extrémního sucha, dosáhl index v roce 2015. Vyhodnocení dokazuje, že suchá období jsou v regionu stále častější, a zároveň že nabývají na intenzitě.

Výsledky výpočtů *ECQ* (Ellenbergova klimatického kvocientu) představuje poslední sloupec v Tabulce č. 5. Čím vyšších nabývá tento index hodnot, tím bylo počasí ve stanoveném období teplejší a sušší. Jako nejteplejší a nejsušší sezony za 30 let pozorování tento kvocient vyhodnotil roky 2003, 2015 a 2018. Průměrná hodnota *ECQ* za celé třicetileté období je 33,76.

**Tabulka č. 5:** Hodnoty SPI (Standardized Precipitation Index) pro časová období 3, 6 a 12 měsíců a ECQ (Ellenbergova klimatického kvocientu) v letech 1993–2023 s barevným vyhodnocením hodnot SPI podle kategorizace sucha (viz Tabulka č. 4; zdroj dat: Český hydrometeorologický ústav 2024, výpočty A. Hroncová).

Legenda kategorií sucha	
Hodnoty SPI	Kategorie sucha
0 až -0,99	mírné sucho
-1,00 až -1,49	střední sucho
-1,50 až -1,99	velké sucho
≤ -2,00	extrémní sucho

rok	SPI3	SPI6	SPI12	ECQ
1993	1,28	0,64	-0,03	27,28
1994	-1,06	-0,34	-0,05	34,47
1995	1,72	2,22	2,46	28,92
1996	1,15	0,50	0,22	27,41
1997	-0,92	-0,54	-0,30	39,17
1998	0,51	-0,15	-1,17	31,67
1999	-0,81	-0,64	-0,11	39,01
2000	-0,23	0,77	-0,02	29,16
2001	-0,42	0,64	-0,16	27,80
2002	0,26	0,54	1,00	25,32
2003	0,12	-1,02	1,27	<b>49,39</b>
2004	0,03	-0,11	-1,51	32,68
2005	0,25	0,27	0,02	34,74
2006	-0,40	0,69	-0,42	42,38
2007	-0,02	-0,89	-1,18	32,49
2008	-1,34	-0,76	-0,08	35,53
2009	0,72	1,06	0,46	29,75
2010	0,67	0,23	0,30	29,49
2011	1,83	1,26	1,86	27,24
2012	-0,60	-1,15	-0,89	32,03
2013	2,12	2,11	1,98	26,34
2015	-1,91	-2,23	-0,69	<b>45,47</b>
2016	0,41	0,39	0,15	35,20
2017	-0,94	-0,49	-1,08	36,08
2018	-0,59	-1,38	-0,82	<b>47,77</b>
2019	-1,37	-1,46	-1,69	39,15
2020	-0,36	0,07	-0,06	31,36
2021	1,97	1,70	1,70	29,45
2022	0,22	-0,01	-0,58	32,18
2023	-1,78	-0,91	-0,21	33,72



## 5.2 Vegetace versus počasí: výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty

### 5.2.1 Dynamika bylinné vegetace v oplocené ploše za období 1993–2023

Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro trvalou oplocenou výzkumnou plochu za časovou řadu 30 let (1993–2023) představuje Tabulka č. 6. Na bylinnou vegetaci teplomilné doubravy bez ovlivnění zvěří mají největší vliv jarní teploty. Tento prediktor na společenstvo působí především negativně, čím vyšší jsou jarní teploty, tím nižší je podíl bylinné vegetace. Výraznější negativní vliv jarních teplot je patrný zejména u počtu druhů a pro ellenbergovské indikační hodnoty živin, ovlivňují ale i fenologii rostlin. Dále dynamiku tohoto společenstva značně ovlivňují srážky a teploty předešlé vegetační sezóny. Na oba tyto prediktory výrazně regulují terofyty (např. *Galium aparine*), přičemž vyšší teploty jejich zastoupení ovlivňují negativním způsobem a vyšší srážky naopak způsobem pozitivním. Odezvy rostlin na sucho, definované standardizovaným srážkovým indexem (*SPI*), jsou spíše mírné a pozitivního charakteru. Tento výsledek můžeme vyjádřit tak, že se zvyšující se hodnotou *SPI* (tzn. s mírnějším stavem sucha) vzrůstá podíl druhů s vyššími nároky na živiny a vlhkost, dále vzrůstá zastoupení kontinentálněji laděných taxonů a druhů s nároky na mírně acidofilní až bazické půdní podmínky. Zároveň můžeme vidět, že vegetace reaguje na indexy sucha většinou v kratším časovém horizontu (tři a šest měsíců – *SPI3*, *SPI6*). Obecně toto společenstvo neovlivněné zvěří reaguje na klimatické prediktory slaběji než vegetace zvěří ovlivněná, výjimkou jsou pouze terofyty (jednoleté byliny), které na klimatické proměnné reagují poměrně výrazně. Slabé, ale časté signály na klimatické proměnné vykazuje vegetace prostřednictvím ellenbergovských indikačních hodnot kontinentality a obsahu živin, Shannon-Wienerův index a CSR strategové.

**Souhrnná legenda k tabulkám 6–9:** Výsledkové tabulky lineárních modelů se smíšenými efekty pro jednotlivé datové matice (viz Metodika) a lineárních regresních modelů analýzy fluktuační pokravnosti vybraných druhů s legendou zkratk, symbolů a hodnot výsledků. Číselný údaj ve výsledcích dílčích modelů vyjadřuje hodnotu  $R^2$  (v procentech). Síla závislosti modelu je vyjádřena pomocí symbolů. Barevné zabarvení značí pozitivitu nebo negativitu vztahu mezi prediktorem a odezvou.

Legenda – klimatické proměnné		Legenda – výsledky	
<b>Teploty JARO</b>	Průměrná teplota duben–červen	ns	Neprůkazná hodnota
<b>Srážky JARO</b>	Suma srážek duben–červen	!	10–5%
<b>Teploty ZIMA</b>	Průměrná teplota prosinec–březen	*	1–5%
<b>Srážky ZIMA</b>	Suma srážek prosinec–březen	**	0,1–1%
<b>Teploty SEZÓNA Ioni</b>	Průměrná teplota duben–září předchozí rok	***	0–0,1%
<b>Srážky SEZÓNA Ioni</b>	Suma srážek duben–září předchozí rok		Pozitivní vztah
<b>SPI3</b>	Standardizovaný index srážek – 3 měsíce		Negativní vztah
<b>SPI6</b>	Standardizovaný index srážek – 6 měsíců		
<b>SPI12</b>	Standardizovaný index srážek – 12 měsíců		
<b>ECQ</b>	Ellenbergův klimatický kvocient		

**Tabulka č. 6:** Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro oplocenou plochu za období 1993–2023. Číselný údaj ve výsledcích dílčích modelů vyjadřuje hodnotu R<sup>2</sup> (v procentech), použitá symbolika viz Souhrnná legenda k tabulkám 6–9.

	Teploty JARO	Srážky JARO	Teploty ZIMA	Srážky ZIMA	Teploty SEZÓNA loni	Srážky SEZÓNA loni	SPI3	SPI6	SPI12	ECQ
<b>Pokryvnost bylinného patra</b>	1,5% ***	0,9% **	1,7% ***	ns	ns	0,7% *	2,7% ****	1,0% **	ns	0,5% *
světlo	1,1% ***	ns	1,1% **	ns	3,1% ***	0,6% *	ns	ns	ns	1,2% ***
teplota	ns	ns	ns	ns	0,7% *	ns	ns	ns	ns	0,9% **
<b>Ellenbergovy indikační hodnoty</b>	0,5% *	0,3% !	3,0% ***	ns	0,8% **	0,3% !	1,0% **	2,0% ***	ns	3,2% ***
kontinentalita	0,6% *	1,2% **	0,9% **	ns	ns	ns	1,2% **	0,4% !	1,4% ***	ns
vlhkost	ns	0,7% **	1,2% **	ns	2,1% ***	3,2% ****	1,6% ***	1,8% ***	ns	ns
půdní reakce	4,0% ***	0,4% *	ns	ns	2,9% ***	2,2% ****	0,7% **	0,7% **	ns	1,3% ***
obsah živin	ns	0,9% **	0,3% !	ns	1,2% ****	2,6% ****	0,4% *	0,3% !	ns	0,4% *
geofyty	ns	0,5% *	0,3% !	ns	6,4% ***	0,4% !	ns	ns	0,4% *	0,4% *
hemikryptofyty	0,2% !	0,1% !	0,8% **	ns	ns	0,7% **	1,9% ****	1,3% ****	2,0% ****	ns
chamaefyty	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
hemifanerofyty	ns	ns	0,4% !	ns	0,8% **	0,4% !	0,6% *	0,6% *	ns	1,8% ***
makrofanerofyty	0,6% *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
nanofanerofyty	0,7% *	ns	0,6% *	0,4% !	5,3% ****	10,1% ***	ns	ns	0,4% !	0,6% *
terofyty	ns	2,0% ***	1,2% ****	1,0% **	0,4% !	ns	0,8% **	0,7% **	0,7% **	ns
<b>Shannon-Wienerův index</b>	2,3% ***	2,0% ***	ns	0,4% *	ns	ns	ns	0,5% *	1,5% ***	ns
<b>Počet druhů</b>	1,2% **	ns	0,4% !	ns	0,5% *	1,9% ***	ns	ns	0,4% !	ns
C	1,5% ***	ns	1,9% ***	0,8% *	0,5% !	1,4% **	ns	ns	ns	ns
CR	0,3% !	ns	ns	ns	0,4% *	ns	0,5% *	ns	0,4% *	ns
CS	2,8% ***	0,3% !	ns	0,5% *	0,6% *	3,0% ****	1,1% ***	0,6% *	ns	ns
CSR	0,4% *	1,0% **	ns	0,5% *	ns	ns	ns	0,5% *	0,7% **	ns
R	ns	ns	ns	ns	ns	1,0% **	ns	ns	ns	ns
S	0,7% **	1,0% **	ns	ns	ns	1,0% **	ns	ns	ns	ns
<b>Fenologie</b>	0,7% **	1,0% **	ns	ns	1,2% ***	0,9% **	0,3% !	ns	0,7% **	2,5% ***
vítř	0,7% **	ns	ns	ns	ns	0,5% *	1,1% **	0,3% !	ns	ns
<b>Pylový vektor</b>	0,8% **	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
samoopylení	0,8% **	ns	ns	ns	ns	0,7% *	1,2% ***	0,3% !	ns	ns
hmyz	1,5% ***	ns	ns	ns	1,5% ****	2,6% ****	0,4% !	ns	ns	1,0% **
<b>Typ reprodukce</b>										

### 5.2.2 Dynamika bylinné vegetace v oplocené ploše za období 2017–2023

Výsledky dílčích lineárních modelů se smíšenými efekty pro oplocenou plochu za sedm let monitoringu (2017–2023) zobrazuje Tabulka č. 7. Můžeme vidět, že už za relativně krátkou dobu pozorování je reakce vegetace na klimatické proměnné znatelná. Velmi silný vliv na dynamiku bylinného patra měly srážky ve vegetačním období minulé sezóny. Vyšší srážky významně pozitivně ovlivnily výskyt chamaefytů (např. *Genista tinctoria*), makrofanerofytů, ruderálních strategií (např. *Vicia hirsuta*) a také vyvolaly přítomnost většího počtu druhů. Naopak negativní efekt měly na výskyt hemikryptofytů (např. *Potentilla alba*, *Betonica officinalis*) a CR strategií (např. *Galium aparine*). Dále bylinné patro reagovalo na teploty a srážky v zimním období, na jarní teploty a teploty z předchozí vegetační doby. V této variantě testů se projevily i reakce bylinné vegetace na klima definované Ellenbergovým klimatickým kvocientem (*ECQ*). Čím vyšší je hodnota *ECQ*, což značí sušší a teplejší klima, tím klesá zastoupení rostlin náročnějších na světlo, vlhkost a obsah živin v půdě, a také se snižuje podíl konkurenčních strategií. Zároveň se mění fenologie, s vyšší hodnotou *ECQ* se zvyšuje zastoupení druhů s časnější fází kvetení. V posledních sedmi letech vegetace výrazně odpovídá na klimatické proměnné zejména prostřednictvím chamaefytů, hemikryptofytů, ruderálních strategií a také pomocí ellenbergovských indikačních hodnot půdní reakce a obsahu živin. Obecně je reakce vegetace v oplocené ploše za sedm let pozorování na charakteristiky počasí silnější než za 30 let sledování.



**Tabulka č. 7: Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro oplocenou plochu za období 2017–2023. Číselný údaj ve výsledcích dílčích modelů vyjadřuje hodnotu R<sup>2</sup> (v procentech), použitá symbolika viz Souhrnná legenda k tabulkám 6–9.**

	Teploty JARO	Srážky JARO	Teploty ZIMA	Srážky ZIMA	Teploty SEZÓNA loni	Srážky SEZÓNA loni	SPI3	SPI6	SPI12	ECQ
<b>Pokryvnost bylinného patra</b>										
světlo	5,2% **	ns	6,8% ***	7,1% ***	1,7% !	ns	ns	ns	10,6% *	3,0% *
teplota	5,4% **	4,2% **	19,3% ***	12,4% ***	16,2% ***	21,1% ***	1,6% !	ns	ns	8,0% ***
kontinentalita	ns	ns	1,8% !	ns	4,8% **	8,2% ***	1,7% !	ns	ns	ns
vlhkost	5,3% ***	ns	ns	1,5% !	ns	ns	ns	1,4% !	ns	5,3% ***
půdní reakce	ns	1,4% !	ns	ns	ns	5,5% **	3,8% **	ns	2,2% *	2,1% !
obsah živin	9,3% ***	3,6% **	ns	1,9% *	1,3% !	8,3% ***	4,0% **	7,4% ***	9,0% ***	8,5% ***
geofyty	14,8% ***	ns	14,3% ***	10,4% ***	7,8% ***	3,9% *	ns	4,7% **	2,9% *	15,0% ***
hemikryptofyty	ns	ns	3,3% **	1,9% *	9,4% ***	6,9% ***	ns	ns	2,5% *	ns
chamaefyty	ns	7,4% ***	25,1% ***	10,7% ***	26,1% ***	24,1% ***	5,3% ***	2,5% *	7,8% ***	ns
hemifanerofyty	3,0% **	2,4% *	8,1% ***	2,2% *	2,5% *	49,9% ***	9,1% ***	11,0% ***	8,3% ***	ns
makrofanerofyty	ns	ns	ns	ns	ns	1,5% !	ns	ns	ns	ns
nanofanerofyty	ns	ns	2,9% *	ns	6,1% ***	23,7% ***	ns	ns	1,4% !	ns
terofyty	1,9% !	ns	10,8% ***	5,4% **	ns	ns	ns	ns	ns	1,6% !
<b>Shannon-Wienerův index</b>	ns	ns	ns	ns	1,8% !	2,9% *	ns	ns	ns	ns
<b>Počet druhů</b>	2,2% *	2,0% *	ns	2,7% *	4,1% **	13,2% ***	ns	1,6% !	6,7% ***	1,6% !
C	7,7% ***	ns	8,1% ***	ns	3,1% *	8,7% ***	ns	2,7% *	4,7% **	8,6% ***
CR	2,7% *	ns	5,9% **	4,2% **	12,7% ***	16,1% ***	ns	ns	ns	4,4% *
CS	ns	ns	ns	ns	ns	3,0% *	ns	ns	ns	ns
CSR	12,2% ***	ns	12,0% ***	3,7% **	ns	7,9% ***	ns	3,0% *	ns	18,0% ***
R	5,7% **	1,6% !	2,6% *	4,5% **	2,5% *	21,3% ***	2,1% *	ns	2,8% *	4,8% **
S	ns	ns	ns	ns	ns	4,1% *	ns	ns	ns	ns
<b>Fenologie</b>	8,7% ***	1,6% !	13,5% ***	6,1% ***	11,2% ***	3,3% *	ns	ns	ns	12,4% ***
vítr	2,3% *	ns	9,6% *	ns	ns	1,8% !	ns	ns	ns	3,4% **
<b>Pylový vektor</b>	ns	ns	ns	ns	ns	3,6% *	ns	ns	ns	ns
hmnyz	2,0% *	ns	2,6% *	ns	ns	3,4% **	ns	ns	ns	2,9% *
<b>Typ reprodukce</b>	4,1% **	ns	2,3% *	2,2% !	6,0% ***	2,0% !	ns	ns	ns	5,7% **

### 5.2.3 Dynamika bylinné vegetace na kontrolní neoplocené ploše za období 2017–2023

Vyhodnocení statistických analýz pro kontrolní neoplocenou plochu za sedm let jejího sledování (2017–2023) zobrazuje Tabulka č. 8. V tomto případě je velmi patrný vliv klimatických proměnných v zimním období, které působí na většinu definovaných biologických parametrů. Mírnější a vlhčí zimy způsobují vyšší pokryvnost bylinného patra, větší počet druhů ve společenstvu, vyšší zastoupení CR strategií (např. *Galium aparine*) a také vyšší zastoupení rostlin, které se rozmnožují převážně generativně (pomocí semen). Dále byl zaznamenán značný počet odpovědí rostlin na teploty a srážky v předchozím vegetačním období. Klimatické indexy (*SPI*, *ECQ*) zaznamenaly silné reakce v pokryvnosti bylinného patra. Tento výsledek vysvětluje velmi intuitivní vztah vegetace a podmínek prostředí: čím je větší sucho, tím nižší je pokryvnost vegetace. Na všechny definované klimatické prediktory reagovala vegetace prostřednictvím ellenbergovské indikační hodnoty nároku rostlin na živiny. Vegetace také silně odpovídala změnami v pokryvnosti bylinného patra, v počtu druhů, v zastoupení konkurenčně-ruderálních strategií (*CR*) i v typu reprodukce. Obecně můžeme říci, že odezvy vegetace jsou na této ploše silnější a častější než na ploše oplocené.

**Tabulka č. 8:** Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro kontrolní plochu za období 2017–2023. Číselný údaj ve výsledcích dílčích modelů vyjadřuje hodnotu R<sup>2</sup> (v procentech), použitá symbolika viz Souhrnná legenda k tabulkám 6–9.

	Teploty JARO	Srážky JARO	Teploty ZIMA	Srážky ZIMA	Teploty SEZONA loni	Srážky SEZONA loni	SPI3	SPI6	SPI12	ECQ
Pokryvnost bylinného patra	21,4% ***	19,2% ***	15,3% ***	6,6% ***	ns	ns	15,5% ***	14,1% ***	19,5% ***	24,1% ***
	ns	4,1% **	ns	ns	9,6% ***	10,8% ***	1,6% !	2,1% !	2,2% !	1,6% !
Ellenbergovy indikační hodnoty	2,7% *	ns	1,7% !	11,9% ***	23,2% ***	19,3% ***	2,3% *	ns	ns	ns
	2,4% *	1,9% !	7,5% ***	3,2% *	ns	ns	1,6% !	2,1% *	ns	5,1% **
	13,1% ***	10,4% ***	8,8% ***	7,8% ***	ns	4,8% **	12,7% ***	15,3% ***	11,5% ***	17,9% ***
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Životní formy	15,6% ***	8,8% ***	10,7% ***	17,2% ***	11,3% ***	3,5% *	16,9% ***	16,6% ***	10,6% ***	18,0% ***
	12,3% ***	6,0% ***	ns	ns	ns	ns	8,1% ***	13,0% ***	3,3% *	16,0% ***
	ns	2,6% *	14,3% ***	ns	12,1% ***	14,1% ***	ns	ns	2,3% !	ns
	ns	6,6% ***	ns	ns	5,8% ***	27,2% ***	3,6% **	4,8% **	ns	14,0% ***
	ns	3,5% *	24,0% ***	9,8% ***	9,5% ***	5,0% **	2,5% !	1,9% !	2,2% !	ns
	1,4% !	ns	2,1% *	2,8% *	ns	ns	ns	2,0% *	ns	1,3% !
Shannon-Wienerův index	ns	ns	10,0% ***	26,9% ***	5,4% **	ns	ns	ns	ns	ns
	ns	1,7% !	15,0% ***	11,9% ***	ns	4,2% **	3,6% *	10,7% ***	ns	ns
Počet druhů	ns	ns	32,1% ***	32,2% ***	3,8% **	13,4% ***	ns	1,9% !	ns	14,8% ***
	ns	3,4% *	7,9% ***	8,3% ***	5,3% **	ns	2,7% *	2,5% *	1,9% !	ns
Životní strategie	ns	3,0% *	32,8% ***	32,7% ***	25,9% ***	23,6% ***	ns	ns	3,5% **	2,2% !
	2,2% *	ns	5,6% **	9,2% ***	7,5% ***	2,2% !	2,3% *	1,6% !	ns	2,0 !
	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	ns	6,1% ***	ns	4,6% ***	2,8% **	3,0% !	4,1% ***	1,9% *	ns	ns
Fenologie	ns	ns	2,2% *	ns	4,1% **	16,8% ***	ns	ns	1,2% !	ns
	ns	ns	2,4% *	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Pylový vektor	ns	5,6% **	11,2% ***	12,8% ***	12,7% ***	5,8% **	3,7% *	4,9% **	5,1% **	ns
	ns	ns	ns	ns	3,3% **	5,7% ***	ns	ns	ns	ns
Typ reprodukce	ns	3,8% *	18,1% ***	18,1% ***	16,2% ***	6,50 **	ns	2,5% !	3,0% *	ns
	4,6% **	ns	26,8% ***	25,6% ***	18,3% ***	3,5% *	ns	ns	ns	6,1% ***

### 5.3 Vyhodnocení analýzy fluktuace pokryvností vybraných bylinných druhů

Výsledky analýzy závislosti fluktuace pokryvností vybraných druhů na průběhu klimatických prediktorů za sledované období 1993–2023 shrnuje Tabulka č. 9. Můžeme vidět, že většina provedených modelů byla neprůkazných (nesignifikantních), pouze zhruba šestina z nich byla statisticky významných. Vybranné bylinné druhy nejvíce reagovaly na teploty v zimním období (prosinec–březen) a to převážně poklesem populační hustoty. To znamená, že mírné zimy mají negativní vliv na zastoupení většinu vybraných druhů tohoto společenstva. Dále druhy silně reagovaly na teploty a srážky vegetační sezóny v předešlém roce. Vyšší teploty v tomto období měly negativní vliv na zastoupení druhů *Genista tinctoria* a *Myosotis sylvatica*, naopak pozitivní vliv měly na přítomnost druhu *Galium aparine*. Vyšší srážky v předcházejícím vegetačním období měly přesně opačný účinek, silně pozitivní vliv na zastoupení *Genista tinctoria* a *Myosotis sylvatica* a negativní vliv na přítomnost *Galium aparine*.

Nejvyšší počet odpovědí na klimatické prediktory, avšak se slabší odezvou, se projevil u druhu *Genista tinctoria*. Dále byl větší počet reakcí prokázán u *Myosotis sylvatica* a *Galium aparine*. Nejsilnější reakce se ale ukázaly u nitrofilního druhu *Galium aparine*, který pozitivně reagoval na vyšší teploty v zimním období a v loňské vegetační sezóně, a naopak negativně reagoval na vyšší srážky v předešlém vegetačním období. Silně pozitivní vliv na Ellenbergův klimatický kvocient (*ECQ*) se projevil u druhu *Melittis melissophyllum*. Čím je hodnota *ECQ* vyšší (sušší a teplejší klima), tím je pokryvnost a výskyt tohoto druhu větší. Odezvy na *ECQ* se projevíly jak na individuální úrovni jednotlivých druhů, tak i na úrovni společenstva.



**Tabulka č. 9:** Výsledková tabulka jednoduchých lineárních regresních analýz pro vybrané druhy bylinného patra za období 1993–2023. Číselný údaj ve výsledcích dílčích modelů vyjadřuje hodnotu R2 (v procentech), použitá symbolika viz Souhrnná legenda k tabulkám 6-9.

Vybrané druhy		Teploty JARO	Srážky JARO	Teploty ZIMA	Srážky ZIMA	Teploty SEZÓNA loni	Srážky SEZÓNA loni	SPI3	SPI6	SPI12	ECQ
Vzácné druhy	<i>Genista tinctoria</i>	ns	ns	6,7% !	ns	7,3% !	8,5% !	ns	8,3% !	6,2% !	7,8% !
	<i>Melittis melissophyllum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	13,3% *
	<i>Mercurialis perennis</i>	ns	ns	ns	6,5% !	ns	ns	ns	8,3% !	ns	ns
	<i>Myosotis sylvatica</i>	16,5% †	ns	ns	ns	7,8% !	23,0% **	ns	ns	ns	ns
	<i>Potentilla alba</i>	ns	ns	12,1% †	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Solidago virgaurea</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Trifolium alpestre</i>	ns	ns	ns	6,6% !	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Dominantní druhy	<i>Anthericum ramosum</i>	7,8% !	ns	ns	8,5% !	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Betonica officinalis</i>	ns	ns	6,2% !	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Brachypodium pinnatum</i>	8,5% !	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Campanula persicifolia</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	<i>Galium aparine</i>	ns	ns	12,0% *	ns	29,2% **	11,3% †	ns	ns	ns	ns
	<i>Hieracium murorum</i>	ns	7,3% !	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	9,6% !



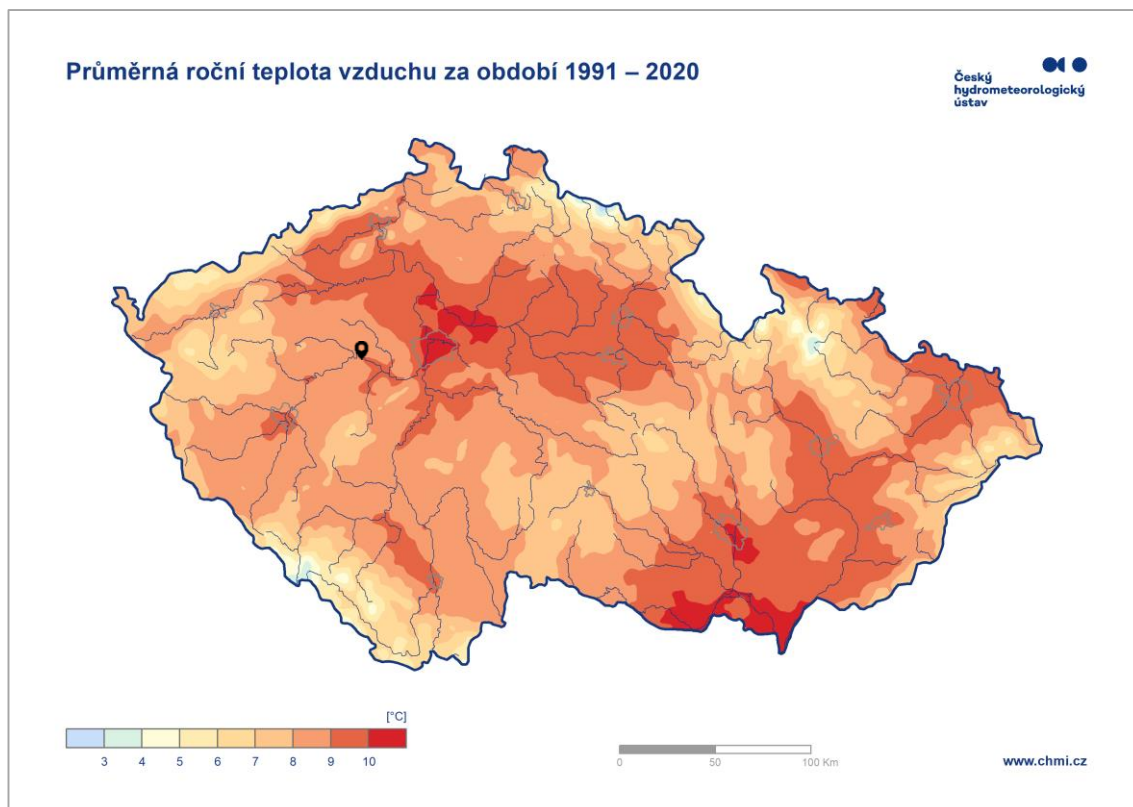
## 6 DISKUZE

### 6.1 Regionální chod počasí a změna klimatu v období 1993–2023

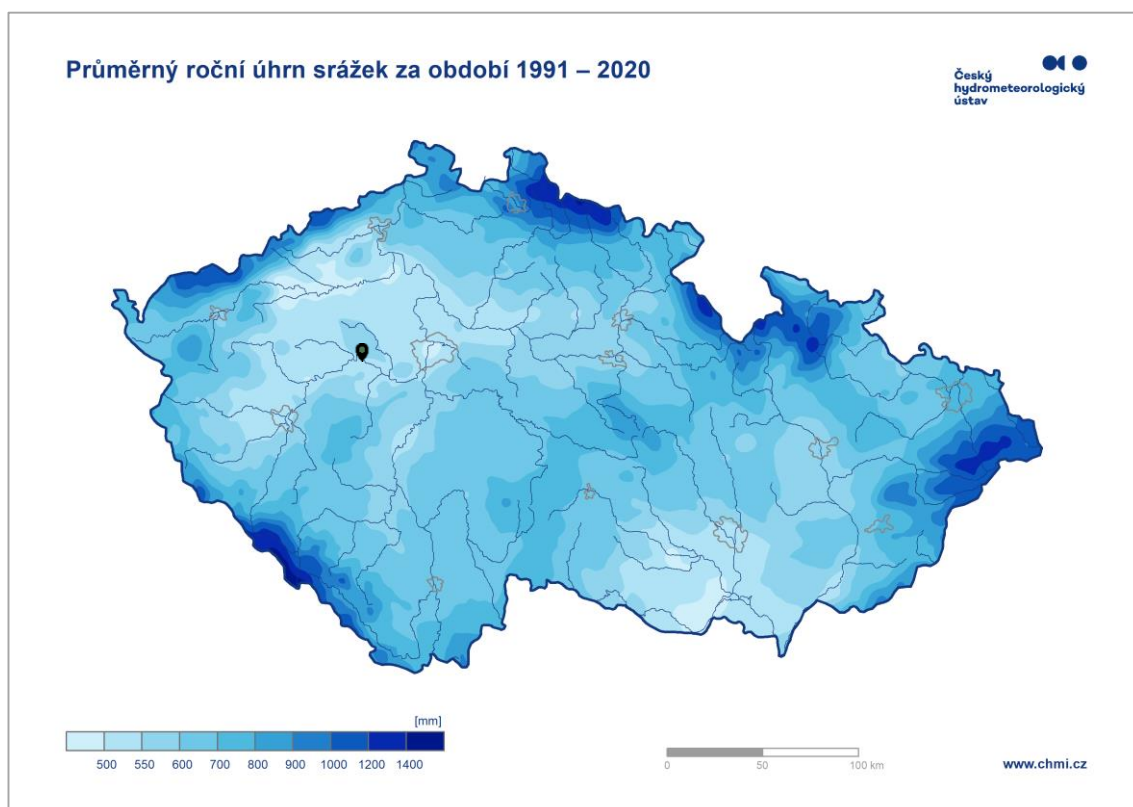
Výsledky 30letého průběhu meteorologických charakteristik v okolí zkoumané lokality Červený kříž dobře ukazují, že změny klimatu jsou patrné i v regionálním měřítku. Na grafu č. 1, který ukazuje vývoj průměrných ročních teplot v období 1993–2023, můžeme vidět díky lineární spojnici trendu charakter oteplování lokality. Trend nárůstu teplot na studovaném území je přibližně 1,3 °C za 30 let. V České republice je v posledních padesáti letech pozorováno zvyšování průměrných ročních teplot do 0,4 °C (v nižších polohách), do 0,3 °C (ve vyšších polohách) za desetiletí (Český hydrometeorologický ústav 2011, Zahradníček et al. 2021). Oproti tomuto pozorování naše výsledky vykazují poněkud vyšší trend nárůstu teplot. Jednotlivé průměrné roční teploty vzduchu se pohybovaly od 6,5 °C (v roce 1996) do 10,4 °C (v roce 2023), a průměrná hodnota této charakteristiky za celé sledované období je 9 °C. Roční úhrny srážek v České republice nevykazují významný dlouhodobý trend vývoje (Zahradníček et al. 2021, Zahradníček et al. 2022), podle Českého hydrometeorologického ústavu (2011) dokonce dochází od 90. let k mírnému nárůstu ročního úhrnu srážek. Přesto v naší studii byl zjištěn velmi mírný klesající trend ročních úhrnů srážek (viz Graf č. 2). Průměrný roční úhrn srážek za období 1993–2023 je 572 mm a hodnoty ročních úhrnů srážek se pohybovaly od 385 mm (v roce 2003) až do 740 mm (v roce 2013). Obě průměrné roční charakteristiky přibližně odpovídají hodnotám popsaným na mapách Českého hydrometeorologického ústavu (Obrázek č. 9 a 10).

Mezi obávané jevy související s klimatickými charakteristikami a s klimatickou změnou patří také sucho (Spinoni et al. 2014). Z toho důvodu byly do diplomové práce zařazeny a vyhodnoceny dva indexy posuzující tento jev (*SPI* a *ECQ*; viz Tabulka č. 5). Výsledky naznačují, že v posledním desetiletí se suchá období v regionu vyskytují stále častěji a nabývají na intenzitě. *SPI* index ukázal, že k extrémnímu suchu ve studované oblasti došlo v roce 2015. Ellenbergův klimatický kvocient, který je nejspíš pro hodnocení klimatu v souvislosti s vegetací vhodnější (např. Jensen et al. 2004, Dujka & Kusbach 2023), vyhodnotil jako nejsušší a nejteplejší roky 2003, 2015 a 2018. Tyto roky jako nejsušší období v pozorované časové řadě se shodují se studií Fischer et al. (2020) z jižní Moravy, a proto můžeme říci, že sucho v těchto letech postihlo celou Českou republiku.

**Obrázek č. 9:** Mapa průměrné roční teploty vzduchu v ČR za období 1991–2020, černý bod představuje lokalitu PR Červený kříž (Český hydrometeorologický ústav 2021).



**Obrázek č. 10:** Mapa průměrných roční úhrnů srážek v ČR za období 1991–2020, černý bod představuje lokalitu PR Červený kříž (Český hydrometeorologický ústav 2021).



Průměrná hodnota Ellenbergova klimatického kvocientu za 30 let na dané lokalitě činí 33,76. Při porovnání této hodnoty s hodnotami *ECQ* uvedenými v tabulce popisující lesní vegetační stupně (Tabulka č. 10) bylo zjištěno, že výsledná hodnota je vyšší než ta, jež odpovídá charakteristice druhého LVS, do kterého je lokalita typologicky zařazena. Výsledná průměrná hodnota *ECQ* odpovídá rozpětí hodnot pro dubový (tj. první) LVS (Hruban 2009). Tento výsledek naznačuje, že klimatická změna posouvá lesní vegetační stupně o jeden níže. Z hlediska lesního hospodaření je proto nezbytné zaktualizovat geografickou delimitaci lesní vegetační stupňovitosti i s ohledem na vazby stanovišť s vlastnostmi půdy a půdotvornými procesy.

**Tabulka č. 10** Tabulka lesních vegetačních stupňů doplněná o jejich klimatické charakteristiky (Zdroj: Česká zemědělská univerzita v Praze 2024).

LESNÍ VEGETAČNÍ STUPNĚ							
LESNÍ VEGETAČNÍ STUPNĚ (LVS)	Fytogeografické stupně (Skalický 1988)	Geobiocenologie ZLATNÍK (1976)	nadmořská výška m n.m. / altitude	průměrná teplota °C	průměrný roční úhrn srážek mm	vegetač. doba dny nad 10°C	Kvociant aridity*
1. dubový (J. Morava + Polabí)	planární	1. dubový (pouze J. Morava)	175 - 400	7,7 - 9,2	493 - 665	158 - 179	26 - 39
2. bukodubový	kolinní	2. bukodubový	253 - 465	7,3 - 8,5	550 - 724	152 - 173	24 - 32
3. dubobukový	suprakolinní	3. dubobukový	280 - 535	6,8 - 8,2	585 - 803	144 - 168	20 - 30
4. bukový	submontánní	4a. bukový 4b. dubojehličnatý	395 - 620	6,4 - 7,6	618 - 851	134 - 159	18 - 27
5. jedlobukový	montánní	5. jedlobukový	480 - 790	5,4 - 7,0	677 - 1000	113 - 150	15 - 24
6. smrkobukový		6. smrkojedlobukový	600 - 994	4,3 - 6,3	736 - 1126	85 - 137	12 - 21
7. bukosmrkový			810 - 1139	3,4 - 5,3	798 - 1158	62 - 116	11 - 18
8. smrkový	supramontánní	7. smrkový	900 - 1275	2,7 - 4,5	967 - 1274	40 - 103	10 - 13
9. klečový (včetně alpského)	subalpinský	8. klečový	>1230	1,8 - 2,7	1078 - 1305	24 - 65	8.10
	alpinský	9. alpinský					
0. bory							

\* Ellenbergův klimatický kvociant (Hruban 2010) - index pro hodnocení aridity krajiny: poměr ročních úhrnů srážek a teploty nejteplejšího měsíce (červenec) v období 1961 - 1990.

## 6.2 Dynamika bylinného patra subkontinentální doubravy

Dynamika subkontinentálních doubrav je už po dlouhou dobu intenzivně zkoumanou charakteristikou těchto společenstev (Roleček 2010). Z důvodu ochrany a zachování biodiverzity těchto unikátních teplomilných a druhově bohatých lesních společenstev, u nichž je doložen přechod v mezofilnější a druhově chudší typy vegetace, je zkoumání dynamiky velmi důležité a opodstatněné. Změny dynamiky v těchto společenstvech byly studovány zejména z hlediska sukcese a nejrůznějších disturbančních režimů, ať už z pohledu historického hospodaření (pařezení, pastva) nebo vlivu zvěře (např. Kwiatkowska 1986, Jakubowska-

Gabara 1996, Hédli et al. 2010, Andrzejewski et al. 2015). Vliv změn klimatu a možné dopady na dynamiku těchto ekosystémů však byly studovány jen málo.

Vyhodnocení závislosti dynamiky bylinného patra v PR Červený kříž na klimatických prediktorech za 30 let pravidelného fytoecologického snímkování je velmi unikátní možnost pochopení vývoje společenstva subkontinentální doubravy s mochnou bílou v měnících se klimatických podmínkách.

### 6.2.1 Dynamika bylinného patra v oplocené ploše

Oplocená vegetace se vyznačuje především reakcemi na klimatické prediktory (srážky a teploty) v předcházejícím roce, což svědčí o určité zakonzervovanosti a stabilitě tohoto společenstva. K tomuto úsudku přispívají i další výsledné hodnoty dílčích analýz. Výsledky pozorování oplocené plochy během třicetileté řady ukazují, že bylinné patro většinou reaguje na prediktory slaběji, jsou pozorovány pouze mírné změny ve vegetaci, a s určitým časovým odstupem. Bylinná vegetace čte dlouhodobější vývoj podmínek počasí a celkovou dostupnost zdrojů, což vede ke stabilitě společenstva. Výjimku ve výsledcích tvoří pouze terofyty, jednoleté rostliny, rozmnožující se převážně semeny (např. *Melampyrum pratense*), které poměrně silnými odezvami reagují především na aktuální klimatické podmínky. O jakési stálosti společenstva neovlivněného zvěří můžeme usuzovat i z analýzy sedmileté řady, kde se projevila pouze mírná reakce na sucho, přestože podle vyhodnocení *SPI* intenzita sucha v posledních deseti letech stále stoupá. Tyto slabé reakce a jejich zpoždění jsou s největší pravděpodobností způsobeny mikroklimatickými podmínkami, které tlumí biotické reakce na změny makroklimatu (De Frenne et al. 2013). Na udržování mikroklimatu oplocené plochy bude mít vliv jak patro stromové, tak ale i bylinné, neboť z důvodu nepřístupnosti zvěří se na ploše hromadí biomasa, která napomáhá udržení mikroklimatických podmínek na úrovni přízemní bylinné vegetace. Bylinné patro je tak poměrně rezistentní k extrémnějším výkyvům klimatu.

Dále je bylinné patro v oplocené ploše ovlivňováno jarními teplotami. V tomto společenstvu mají vyšší jarní teploty na vegetaci většinou negativní vliv, který je pozorován zejména na pokryvnosti bylinného patra a na počtu druhů. Teploty vzduchu v tomto období mají negativní vliv také na výskyt konkurenčně-ruderálních (*CR*) a konkurenčních (*C*) strategií. V posledních sedmi letech se tento efekt projevil ve větší míře i u strategií ruderálních (*R*). S tímto výsledkem může souviset i negativní reakce společenstva prostřednictvím ellenbergovských indikačních hodnot pro živiny, která naznačuje, že čím se teploty vzduchu

zvyšují, tím se podíl rostlin s vyššími nároky na živiny snižuje. Mezi tyto druhy patří například *Alliaria petiolata* (CR strateg), *Betonica officinalis* (C strateg) a *Vicia tetrasperma* (R strateg). Jarní teploty podle výsledků ovlivňují také fenologii rostlin, vyšší jarní teploty mají za následek časnější nástup fáze kvetení. Tento trend potvrzují mnohé studie (např. Badeck et al. 2004, Inouye 2022). Podle Piao et al. (2019) mohou být vlivem fenologických změn narušeny jak mezidruhové vztahy ve společenstvech, tak i tok uhlíku nebo dokonce hydrologický cyklus. Kim et al. (2018) ve své studii ze Severní Ameriky dokonce uvádí, že posuny ve fenologii rostlin měly za následek podstatné zvýšení evapotranspirace a následné snížení odtoku vody v tocích během vegetační sezóny i mimo ni. Naopak pozitivní vliv jarních teplot se projevuje u tří proměnných: CSR strategie, opylení hmyzem a typu reprodukce. Se zvyšujícími teplotami na jaře se zvyšuje podíl CSR strategů, rostlin opylovaných hmyzem a bylin, které se rozmnožují jak generativně, tak i vegetativně. Tyto tři proměnné spolu úzce souvisí, neboť mnoho druhů rostlin vyskytujících se v tomto společenstvu, zejména těch kvetoucích brzy na jaře (např. *Hepatica nobilis*, *Lathyrus vernus*, *Primula veris*), se řadí do CSR strategů, jsou opylovány převážně hmyzem a zároveň se rozmnožují jak semeny, tak vegetativně.

Vliv teplot a srážek v zimním období na vegetaci se projevil zejména ve výsledcích analýzy posledních sedmi let pozorování, v analýze celé třicetileté řady se tento trend neprokázal. Mírnější a vlhčí zimy pozitivně působí na výskyt hemikryptofytů a rostlin náročnějších na světlo a na obsah živin v půdě, ale i na celkovou pokryvnost bylinného patra. Těmto ekologickým charakteristikám odpovídají například tyto druhy: *Potentilla alba*, *Anthericum ramosum* a *Peucedanum cervaria*. Podle Vangansbeke et al. (2022) mají vyšší jarní a zimní teploty negativní vliv na obnovu jarních geofytů, vyskytujících se v evropských lesích, např. *Anemone nemorosa*, která v jarním aspektu místy převládá i na lokalitě Červený kříž (Kolbek et al. 2003). Negativní působení zimních teplot na geofyty se ukázaly pouze ve výsledcích analýzy sedmileté řady oplocené plochy. Naopak v analýze sedmileté řady na kontrolní neoplocené ploše se projevil poměrně silný pozitivní vliv jarních teplot na výskyt geofytů. V tomto případě se naše pozorování neshoduje s výsledky studie listnatých lesů mírného pásma v Belgii (Vangansbeke et al. 2022). Dosažený výsledek tedy poukazuje na důležitost interakce mezisezónní dynamiky vegetace s působením zvěře, kdy zvěř moduluje odezvu bylin na faktory počasí nejen svým fyzickým disturbančním působením, ale také posunem druhové skladby rostlin zavlékáním diaspor zejména epichorických druhů (tj. druhů šířených v srsti nebo na kopýtkách zvířat).

## 6.2.2 Dynamika bylinného patra na neoplocené ploše

Křivoklátsko je od raného novověku ovlivněno rozhodnutím přemyslovských knížat a králů a jejich následovníků, kteří se tuto oblast rozhodli využívat jako svůj lovecký revír (Ložek et al. 2005). Nepochybně se tedy Křivoklátsko stalo oblastí, kde zvěř byla a stále je zásadním ekosystémovým architektem, který na tomto území ovlivňuje, více či méně, vývoj vegetace. V této oblasti se vyskytují jak původní druhy zvěře (jelen evropský, srnec obecný a prase divoké), tak i introdukované druhy jako muflon, daněk skvrnitý a jelen sika (Agentura ochrany přírody a krajiny ČR 2024). Vliv zvěře na lokalitě dokazuje i četná přítomnost pobytových znaků (viz Příloha č. 1). Kromě negativních efektů, jako je pokles druhové diverzity z důvodu potravní preference určitých druhů (Perea et al. 2014) nebo také eutrofizace území z důvodu přezvěření oblasti (Kjučukov et al. 2022), může mít v určitých případech vliv zvěře i pozitivní účinky. Pozitivní efekt zvěře může být pozorován zejména v dubohabrových porostech, kde určitým způsobem nahrazuje management historické pastvy (Petřík et al. 2009).

Vliv zvěře na vegetaci se projevil i v našich výsledcích analýzy sedmileté řady na kontrolní neoplocené ploše (Tabulka č. 8), kde se reakce na klimatické prediktory vcelku značně lišila od oplocené plochy (Tabulka č. 6 a 7). Odezvy vegetace na kontrolní ploše za sedm let pozorování na definované prvky počasí jsou podstatně silnější než na ploše oplocené. Tyto výsledky naznačují, že bylinná vegetace teplomilné doubravy s mochnou bílou je pod vlivem zvěře značně citlivější a méně stabilní. Zesilují se tím pádem stochastické (náhodné) procesy, které jsou svým dílem zodpovědné za možné vymizení druhů s nízkými populačními hustotami z celého společenstva (Hanski 1999).

Největší vliv na bylinnou vegetaci, která je vystavena působení zvěře, mají teploty a srážky v zimním období. Na tento prediktor vegetace odpovídá především prostřednictvím CR (konkurenčně ruderálních) strategií, terofytů, makrofanofytů, dále také celkovým počtem druhů a typem reprodukce s důrazem na rozmnožování pomocí semen. Pozitivní reakce na teplejší a vlhčí zimy je pozorována u CR strategií, bylinných druhů, které disponují schopností odolávat intenzivnímu narušování biomasy (disturbancím), mají velkou schopnost reprodukce a zároveň jsou kompetičně silné. Současně na tyto klimatické prediktory pozitivně reagují terofyty – jednoleté byliny rozmnožující se pomocí semen. Tyto skupiny bylin se vzájemně překrývají a jednotlivé druhy tak mohou patřit do obou skupin najednou. Příkladem takových druhů, vyskytující se ve vyšší početnosti na lokalitě, je *Melampyrum pratense* a *Galeopsis pubescens*. Tyto druhy se zároveň rozmnožují převážně semeny a jsou opylovány hmyzem. Zapadají tak do souvislosti s výsledkem silného negativního vztahu typu reprodukce a silným

pozitivním vztahem pylového vektoru hmyzu s klimatickými prediktory zimního období. Tento výsledek můžeme vysvětlit tak, že čím vyšší teploty a srážky v zimním období jsou, tím více jsou zastoupeny taxony rozmnožující se pomocí semen a druhy opylovávány hmyzem. Mírnější a vlhčí zimy jsou zároveň důsledkem menšího výskytu makrofanerofytů. Při mírnějších zimách bez přítomnosti sněhu je riziko okusu zvěří vyšší, protože přítomnost bylin, trav a keřů spolu se semenáčky dřevin jsou pro zvěř z hlediska výživy velmi atraktivní (Náhlík et al. 2005). Nižší zastoupení makrofanerofytů (přirozené obnovy dřevin) při mírnějších zimách tak je s největší pravděpodobností způsobeno okusem zvěře, což dokazuje i přítomnost četných pobytových znaků na lokalitě. Vyšší zastoupení konkurenčně ruderálních strategů a terofytů při mírnějších a vlhčích zimách bychom mohli vysvětlit tím, že tyto druhy jsou schopny snášet intenzivnější narušování biomasy a obnažování půdy, kteréžto procesy jsou velmi pravděpodobně způsobovány zvěří. V případě vyšší aktivity zvěře předpokládáme, že může docházet k většímu šíření semen (Couvreur et al. 2009), což může mít za následek vyšší počet druhů a také rozšíření taxonů s vyšší pokryvností ve společenstvu.

Výsledky analýzy závislých proměnných na klimatických prediktorech v období 2017–2023 na neoplocené ploše také ukazují předpokládaný vztah mezi standardizovaným srážkovým indexem (*SPI*), tedy ukazatelem sucha a vegetací. Čím větší je sucho, tím nižší je pokryvnost bylinného patra. Současně se ukazuje, že čím je větší sucho, tím nižší je podíl rostlin s vyššími nároky na vlhkost a živiny. Vegetace reagovala na všechny klimatické proměnné prostřednictvím ellenbergovské hodnoty pro obsah živin. Tento výsledek může naznačovat, že s vyššími teplotami v zimním období a s průměrně vyššími úhrny srážek dochází ke zvýšené aktivitě půdní fauny a mikroorganismů, čímž stoupá rychlost rozkladu a humifikace. V důsledku zvýšeného obsahu makronutrientů v půdě pak dochází k většímu zastoupení rostlin s vyššími nároky na živiny. Výsledek může souviset i s aktivitou zvěře, která má zajisté přímý podíl na eutrofizaci území (Petřík et al. 2009).

### **6.2.3 Porovnání výsledků odezev vegetace na klimatické prediktory na oplocené ploše s bakalářskou prací**

Výsledky lineárních regresních modelů provedených v bakalářské práci (Hroncová 2022) nám ukázaly, že bylinné patro teplomilné doubravy asociace *Potentillo albae-Quercetum* nejvíce reagovalo na klimatické proměnné (sumy srážek a průměrné teploty vzduchu) za období duben–září v předchozím roce. Dále bylinné patro silně reagovalo na průměrnou teplotu

v zimních měsících (prosinec–březen) a na Ellenbergův klimatický kvocient (*ECQ*). Naopak nejslabší odezvu vegetace zachytil klimatický prediktor sumy srážek za jarní období (duben–červen; Hroncová 2022). Výsledky bakalářské práce rovněž dokládají, že vegetace na meteorologické parametry nejčastěji reagovala prostřednictvím konkurenčně ruderálních strategií (*CR*), stres snášejících konkurenčních strategií (*CS*) a terofytů. Bylinné společenstvo také hojně odpovídalo pomocí Shannonova-Wienerova indexu (*SWI*), tedy změnami v diverzitě společenstva. Podobný počet odpovědí byl zaznamenán i pro pokryvnost a ellenbergovské indikační hodnoty kontinentality a teploty. Nejméně signifikantních modelů bylo zaregistrováno u chování nanofaneroxytů a stres snášejících strategií (Hroncová 2022).

V navazující předkládané diplomové práci ukázaly lineární modely se smíšenými efekty částečně odlišné odpovědi vegetace na klimatické prediktory. Výsledky této práce ukazují, že společenstvo v oplocené ploše nejvíce reagovalo na teploty v jarním období, a až poté na klimatické proměnné (srážky a teploty) v předchozím vegetačním období. Ve výsledku nejslabší odezvy společenstva se obě studie shodují na srážkách v zimním období. Větší rozdíly v dílčích studiích panují ve vztahu, prostřednictvím čeho vegetace reagovala na prediktory. V této diplomové práci vegetace nejsilněji odpovídala prostřednictvím ellenbergovské indikační hodnoty pro kontinentalitu a obsah živin, a také prostřednictvím geofytů, chamaefytů a *SWI* indexu. Nejméně signifikantních modelů bylo zaznamenáno, stejně jako v bakalářské práci, u nanofaneroxytů a stres snášejících strategií, a také u druhů se samoopylením.

### **6.3 Podobnost dynamiky bylinného patra v závislosti na průběhu počasí subkontinentální doubravy se suchými trávníky na jižní Moravě**

I přes velké rozdíly v charakteru vegetace se dlouhodobá studie Fischer et al. (2020) v určitých rysech shoduje s našim výzkumem. Studie, zrealizovaná na základě 25letého monitoringu suchých trávníků, byla uskutečněna na vrchu Děvín, kde se průměrné roční teploty pohybují od 8 do 9,5 °C a roční úhrny srážek činí 500–550 mm. Na lokalitě se nachází kontinentálněji laděné stepní travinné společenstvo s vysokou druhovou bohatostí (Fischer et al. 2020).

Výsledky této studie ukazují, že stejně jako na naší lokalitě vykazovala vegetace dlouhodobou stabilitu a ve společenstvu se neprojevil žádné velké změny v souvislosti s průběhem počasí. Zároveň se ukazuje, že na vegetaci má vliv nejen počasí aktuálního roku,



ale i toho předchozího. Výsledky rovněž vyjadřují, že jednoleté druhy (terofyty) přibývají po teplejších a vlhčích zimách (Fischer et al. 2020), tento trend se projevil i v naší analýze, zejména u sedmileté řady na neoplocené ploše. Dalším trendem, který se projevuje i v naší studii, se týká trvalek (např. geofyty), které reagují negativně na teploty a pozitivně na srážky v předcházejícím vegetačním období (čím vyšší je teplota a čím nižší jsou srážky, tím je nižší zastoupení geofytů). Tento trend je možné pozorovat i ve studii Fischer et al. (2020), kde trvalky přibývají po chladnějších a na srážky bohatších létech. U ruderálních druhů se projevil pozitivní efekt na výskyt po suchých a horkých létech (Fischer et al. 2020), tento trend byl pozorován i v naší studii, zejména u konkurenčně-ruderálních strategií, kteří pozitivně reagovali na vyšší teploty a nižší srážky v předcházejícím vegetačním období.

Navzdory tomu, že studie Fischer et al. (2020) se nezabývala lesní bylinnou vegetací, reakce skupin rostlin na podmínky počasí v některých případech korespondují s naším výzkumem.

#### **6.4 Fluktuační pokryvnosti vybraných bylinných druhů**

Vybrané vzácné a dominantní bylinné druhy určitým způsobem reprezentují společenstvo asociace *Potentillo albae-Quercetum*. Dílčí výsledky analýzy fluktuační těchto druhů ukazuje Tabulka č. 9. Většina provedených modelů nebyla statisticky významných, přesto výsledky ukazují některé zajímavé skutečnosti.

Z výsledků je patrné, že vybrané taxony reagovaly nejvíce na teploty vzduchu v zimním období. Tyto druhy jsou většinou kontinentálněji orientované a změny v podobě mírnějších a vlhčích zim, tedy přechod území do atlantského klimatu, této vegetaci nevyhovuje. K tomu přispívá i výsledek v Tabulce č. 6, kde bylinné patro silně reaguje prostřednictvím ekologické indikační hodnoty pro kontinentalitu. Příkladem je diagnostický druh *Potentilla alba*, který relativně silně negativně reagoval na vyšší zimní teploty. Výjimku tvořil pouze druh *Galium aparine*, nitrofilní druh, který na vyšší zimní teploty reagoval pozitivně. Zajímavý výsledek přinesla i pomněnka lesní (*Myosotis sylvatica*), jež negativně reagovala na vyšší jarní i zimní teploty, ale silný pozitivní vliv na její výskyt měly srážky v předcházejícím vegetačním období.

Ze souhrnné tabulky výsledků je také zřejmé, že nejsilněji na klimatické prediktory reagoval druh *Galium aparine*. Tento nitrofilní druh silně pozitivně reaguje na vyšší teploty vzduchu v předcházející vegetační sezóně a na vyšší teploty v zimním období, naopak negativně odpovídá na vyšší úhrn srážek v přechodí vegetační sezóně. Toto zjištění potvrzuje i studie

Govaert et al. (2021), ve které bylo zjištěno, že na oteplování, světlo a vyšší zastoupení dusíku v půdě reagují a také těchto podmínek využívají generalisté, tedy druhy s nevyhraněnou ekologickou nikou. Generalisté v těchto změněných podmínkách dokáží překonat typické lesní druhy (např. *Anemone nemorosa*), a to může v důsledku vést k biotické homogenizaci společenstva (Govaert et al. 2021). Zároveň musíme říci, že této teorii neodpovídá silná reakce *Myosotis sylvatica*, která je též spíše generalistou lesního prostředí, ale na oteplování podnebí reaguje negativně. Tento výsledek může být způsoben tím, že pomněnka potřebuje určitou vlhkost půdy, která zvýšenými teplotami v zimě a na jaře může být negativně ovlivněna.

Analýza fluktuace pokryvností vybraných druhů neukázala, kromě reakce *Galium aparine* a *Myosotis sylvatica*, silné individuální odezvy těchto druhů na klimatické prediktory. Dosažený výsledek proto naznačuje relativní stabilitu a stálost společenstva subkontinentální doubravy v PR Červený kříž i na úrovni vybraných vzácných a dominantních druhů společenstva.

## 7 ZÁVĚR

Každoroční monitoring bylinného patra subkontinentální doubravy s mochnou bílou v PR Červený kříž na Křivoklátsku realizovaný v letech 1993–2023 dal vzniku výjimečnému souboru fytoecologických dat za souvislé období 30 let. V průběhu monitoringu bylo zhotoveno celkem 750 fytoecologických snímků (25 snímků za rok v období 1993–2023) na trvalé oplocené ploše a 175 snímků na ploše kontrolní (25 snímků za rok v období 2017–2023) se 124 zaznamenanými druhy cévnatých rostlin. Pomocí tohoto souboru dat je možné sledovat a vyhodnocovat dynamiku a populační výkyvy bylinného patra v tomto vzácném lesním společenstvu.

V bakalářské a na to navazující diplomové práci jsme se snažili pochopit reakce bylinného společenstva asociace *Potentillo albae-Quercetum* na prvky chodu počasí. Bakalářská práce přinesla prvotní screening klimatických signálů ve vegetaci (Hroncová 2022), předložená diplomová práce se zabývala vývojem společenstva a jeho funkčních atributů v závislosti na prvcích chodu počasí. Součástí studie je i vyhodnocení intenzity regionálních změn klimatu.

Klimatické změny v oblasti Křivoklátska se projevují zejména oteplováním a výskytem sucha. Nárůst průměrných ročních teplot vzduchu za 30 let činí přibližně 1,3 °C. Z hlediska úhrnů srážek je pozorován pouze velmi mírný klesající trend. Dále bylo zjištěno, že v posledním desetiletí jsou na lokalitě častější a intenzivnější výskyty sucha. Průměrná roční teplota za sledované období je 9 °C a průměrný roční úhrn srážek dosahuje 572 mm.

Výsledky analýzy dynamiky bylinné vegetace subtermofilní doubravy na Křivoklátsku ukázaly mnoho různých interakcí mezi prvky počasí v ekologicky definovaných klimatických obdobích a funkčními znaky vegetace. Projevily se také poměrně velké rozdíly v odezvách vegetace mezi oplocenou plochou a plochou kontrolní, která podléhá vlivu zvěře. Na oplocené společenstvo nejvíce působily výkyvy teplot v jarním období a výkyvy teplot a srážek v předcházející vegetační sezóně, které ovlivňovaly především přítomnost konkurenčních a konkurenčně-ruderálních strategií. Na bylinné patro na kontrolní ploše měly nejvíce vliv teploty a srážky v zimním období, které ovlivňovaly zejména výskyt konkurenčně-ruderálních strategií. Výsledky analýzy fluktuaace vybraných bylinných druhů neprokázala výrazné odezvy druhů, silněji reagovaly pouze druhy *Galium aparine* a *Myosotis sylvatica*.

Přes veškeré zjištěné informace je těžké odhadovat, jakým směrem se vývoj vegetace tohoto výjimečného společenstva bude ubírat. Protože nebyly zjištěny žádné jednosměrné trendy ani úbytek v počtu druhů, můžeme říci, že společenstvo teplomilné doubravy

v PR Červený kříž je relativně stabilní a bude záležet především na vývoji změn klimatu, které mají potenciál toto lesní společenstvo udržet nebo rozvrátit.

## 8 LITERATURA

- Andrzejewski H., Kiedrzyński M. & Jakubowska-Gabara J. (2015) Active protection of thermophilous oak forest *Potentillo albae*-*Quercetum* in the Napoleonów nature reserve (Central Poland) - results of the one-fold treatment. – *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 17 (1): 125-131.
- Anonymus (2015) Plán péče o PR Červený kříž. – Ms. [Depon. in: Správa CHKO Křivoklátsko, Zbečno].
- Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (2024) [online]: CHKO Křivoklátsko: Charakteristika oblasti [cit. 03. 03. 2024]. Dostupné z: <https://krivoklatsko.nature.cz/charakteristika-oblasti>
- Badeck F.-W., Bondeau A., Böttcher K., Doktor D., Lucht W., Schaber J. & Sitch S. (2004) Responses of spring phenology to climate change. – *New Phytologist* 162: 295-309.
- Barkman J. J., Doing H. & Segal S. (1964) Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. – *Acta Botanica Neerlandica* 13(3): 394–419.
- Behringer W. (2010) *A Cultural History of Climate*. – Polity Press, Cambridge
- Bernadzki E., Bolibok L., Brzeziecki B., Zajaczkowski J. & Żybura H. (1998) Compositional dynamics of natural forests in the Białowieża National Park, northeastern Poland. – *Journal of Vegetation Science* 9: 229–238.
- Blossey B. (1999) Before, During and After: The Need for Long-term Monitoring in Invasive Plant Species Management. – *Biological Invasions* 1: 301–311.
- Bodri L. & Čermák V. (1999) Climate change of the last millennium inferred from borehole temperatures: regional patterns of climatic changes in the Czech Republic — Part III. – *Global and Planetary Change* 21(4): 225-235.
- Bradley R. S., Briffa K. R., Cole J., Hughes M. K. & Osborn T. J. (2003) The Climate of the Last Millennium. – In: Alverson K. D., Pedersen T. F. & Bradley R. S. (eds), *Paleoclimate, Global Change and the Future*. *Global Change – The IGBP Series*. p. 105–141, Springer, Berlin.

- Braun-Blanquet J. (1921) Prinzipien einer Systematik der Pflanzengesellschaften auf floristischer Grundlage. – Jahrb. St. Gall. Naturwiss. Ges., St. Gallen 57: 305–351.
- Braun-Blanquet J. (1964) Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. 3. ed. – Springer-Verlag, Vienna.
- Collingham Y.C. & Huntley B. (2000) Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. – Ecological Applications 10(1): 131-144.
- Couvreur M., Verheyen K., Vellend M., Lamoot I., Cosyns E., Hoffmann M. & Hermy M. (2007) Epizoochory by large herbivores: merging data with models. – Basic and Applied Ecology 9(3): 204–212.
- Cowie J. (2013) Climate Change: Biological and Human Aspects. 2. ed. – Cambridge University Press, New York.
- Česká meteorologická společnost (2024) [online]: Elektronický meteorologický slovník (eMS) [cit. 03.03.2024]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>
- Český hydrometeorologický ústav (2011) [online]: Technické shrnutí výsledků projektu VaV – SP/1A6/108/0 v letech 2007–2011. [cit. 06.03.2024]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/projekt-vav-2007-2011>
- Český hydrometeorologický ústav (2021) [online]: Mapy charakteristik klimatu: Dlouhodobý průměr 1991–2020 [cit. 23.03.2024]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>
- Český hydrometeorologický ústav (2024) [online]: Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb. [cit. 25.01.2024]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>
- Český úřad zeměměřický a katastrální (2023) [online]: Klimatické oblasti dle Quitta (1971) [cit. 07.09.2023]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- Česká zemědělská univerzita v Praze (2024) [online]: Lesní vegetační stupně [cit. 28.03.2024]. Dostupné z: [http://katalogy.publikace.com/typologie-lesa/ userfiles/soubory/lvs\\_web.pdf](http://katalogy.publikace.com/typologie-lesa/ userfiles/soubory/lvs_web.pdf)

- De Frenne P., Rodríguez-Sánchez F., Coomes D. A., Baeten L., Verstraeten G., Vellend M., Bernhardt-Römermann M., Brown C. D., Brunet J., Cornelis J., Decocq G. M., Dierschke H., Eriksson O., Gilliam F. S., Hédli R., Heinken T., Hermy M., Hommel P., Jenkins M. A., Kelly D. L., Keith J. Kirby J. K., Mitchell J. G. F., Naaf T., Newman M., Peterken G., Petřík P., Schultz J., Sonnier G., Van Calster H., Waller D. M., Walther G.-R., White P. S., Woods K. D., Wulf M., Graae B. J., & Verheyen K. (2013) Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(46): 18561-18565.
- Dobrovolný P., Brázdil R & Štěpánek P. (2022) Historické klima v České republice. – In: Marek M. (ed), *Klimatická změna - příčiny, dopady a adaptace*, p. 47–75, Academia, Praha.
- Dostál P., Dawson W., van Kleunen M., Keser L. H. & Fischer, M. (2012) Central European plant species from more productive habitats are more invasive at a global scale. – *Global Ecology and Biogeography* 22: 64–72.
- Dray S., Bauman D., Blanchet G., Borcard D., Clappe S., Guénard G., Jombart T., Larocque G., Legendre P., Madi N., Wagner H. H. (2023) *adespatial: Multivariate Multiscale Spatial Analysis*. – R package version 0.3-21, Dostupné z: <https://CRAN.R-project.org/package=adespatial>
- Dujka P. & Kusbach A. (2023) Assessment of the Ellenberg quotient as a practical tool for vertical vegetation zonation. – *CAAS Agricultural Journals, Journal of Forest Science* 69(7): 305-316.
- Dukes S. J. & Mooney A. H. (1999) Does global change increase the success of biological invaders? – *Trends in Ecology & Evolution* 14(4): 135-139.
- Dzwonko Z. & Gawroński S. (2002) Effect of litter removal on species richness and acidification of a mixed oak-pine woodland. – *Biological Conservation* 106: 389–398.
- Ellenberg H. (1963) *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. 1. ed. – Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W. & Paulißen D. (1992) *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. – *Scripta Geobotanica* 18: 1–258.



- Ellenberg H. (2009) *Vegetation Ecology of Central Europe*. 4. ed. – Cambridge University Press, New York.
- Faliński J. B. (2003) Long-term studies on vegetation dynamics: some notes on concepts, fundamentals and conditions. – *Community Ecology* 4: 107–113.
- Fischer M. F., Chytrý K., Těšitel J., Danihelka J. & Chytrý M. (2020) Weather fluctuations drive short-term dynamics and long-term stability in plant communities: A 25-year study in a Central European dry grassland. – *Journal of Vegetation Science* 31: 711–721.
- Fox J. & Weisberg S. (2019) *An {R} Companion to Applied Regression*, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage. – Dostupné z: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Franklin J., Serra-Diaz J. M., Syphard A. D. & Regan H. M. (2016) Global change and terrestrial plant community dynamics. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113 (14): 3725–3734.
- Gilliam F. S. (2006) Response of the herbaceous layer of forest ecosystems to excess nitrogen deposition. – *Journal of Ecology* 94(6): 1176-1191.
- Gilliam F. S. (2007) The Ecological Significance of the Herbaceous Layer in Temperate Forest Ecosystems. – *BioScience* 57(10): 845–858.
- Gilliam F. S. (ed) (2014) *The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America*, 2. ed. – Oxford Academic, New York.
- Gilman S. E., Urban M. C., Tewksbury J., Gilchrist G. W. & Holt R. D. (2010) A framework for community interactions under climate change. – *Trends in Ecology & Evolution* 25(6): 325-331.
- Govaert S., Vangansbeke P., Blondeel H., De Lombaerde E., Verheyen K. and De Frenne P. (2021) Forest understorey plant responses to long-term experimental warming, light and nitrogen addition. – *Plant Biology Journal* 23(6): 1051–1062.
- Grime J. P. (1979) *Plant strategies and vegetation processes*. – London.

- Grulich V. & Chobot K. (2017) Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Cévnaté rostliny. – Příroda 35.
- Hanski I. (1999) Metapopulation ecology. – Oxford University Press, New York.
- Hennekens S. M. & Schaminnee J. H. J. (2001) Turboveg, a comprehensive database management system for vegetation data. – Journal of Vegetation Science 12: 589–591.
- Hédl R., Kopecký M. & Komárek J. (2010) Half a century of succession in a temperate oakwood: from species-rich community to mesic forest. – Diversity and Distributions 16: 267–276.
- Hlásny T., Barcza Z., Fabrika M., Balazs B., Churkina G., Pajčík J., Sedmák R. & Turčáni M. (2011a) Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe. – Climate Research 47: 219–236.
- Hlásny T., Holuša J., Štěpánek P., Turčáni M. & Polčák N. (2011b) Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. – Journal of Forest Science 57: 422–431.
- Hlásny T., Mátyás C., Seidl R., Kulla L., Merganičová K., Trombik J., Dobor L., Barcza Z. & Konôpka B. (2014) Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? – Central European Forestry Journal 60: 5–18.
- Hofmeister J., Mihaljevič M., Hošek J. & Sádlo J. (2002) Eutrophication of deciduous forests in the Bohemian Karst (Czech Republic): the role of nitrogen and phosphorus. – Forest Ecology and Management 169: 213–230.
- Hokr Z. (1990) Státní přírodní rezervace Červený kříž. Geologický inventarizační průzkum – Ms., Správa CHKO Křivoklátsko, Zbečno.
- Hidore J. J. & Oliver J. E. (2010) Climatology: An Atmospheric Science. 3.ed. – Prentice Hall, New York
- Hroncová A. (2022) Dlouhodobá dynamika synuzie bylinných druhů subtermofilní doubravy v závislosti na chodu počasí v přírodní rezervaci Červený kříž, Křivoklátsko. – Ms., 73 p. [Bakalářská práce; depon. in: Knihovna ČZU, Praha]

- Hruban R. (2009) Vyhodnocení makroklimatických charakteristik LVS. – Ms., 103 p. [Depon. in: ÚHÚL Brandýs nad Labem]
- Chrtek J. jun. (2000a) *Melittis* L. – medovník. – In: Slavík B., Chrtek J. jun. & Štěpánková J. (eds), Květena České republiky 6, p. 579–581, Academia, Praha.
- Chrtek J. jun. (2000b) *Betonica* L. – bukvice. – In: Slavík B., Chrtek J. jun. & Štěpánková J. (eds), Květena České republiky 6, p. 626–628, Academia, Praha.
- Chrtek J. (2004) *Hieracium* L. – jestřábník. – In: Slavík B., Štěpánková J. & Štěpánek J. (eds), Květena České republiky 7, p. 540–701, Academia, Praha.
- Chytrý M. (1997) Thermophilous oak forests in the Czech Republic: Syntaxonomical revision of the *Quercetalia pubescenti-petraeae*. – *Folia Geobotanica & Phytotaxonomica* 32: 221–258.
- Chytrý M., Kučera T., Kočí M., Grulich V. & Lustyk P. (eds) (2010) Katalog biotopů České republiky. Ed. 2. – Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Chytrý M. (ed) (2013) Vegetace České republiky 4. Lesní a křovinná vegetace. – Academia, Praha.
- Chytrý M., Tichý L., Dřevojan P., Sádlo J. & Zelený D. (2018) Ellenberg-type indicator values for the Czech flora. – *Preslia* 90: 83–103.
- Chytrý M., Danihelka J., Kaplan Z., Wild J., Holubová D., Novotný P., Řezníčková M., Rohn M., Dřevojan P., Grulich V., Klimešová J., Lepš J., Lososová Z., Pergl J., Sádlo J., Šmarda P., Štěpánková P., Tichý L., Axmanová I., Bartušková A., Blažek P., Chrtek J. Jr., Fischer F. M., Guo W.-Y., Herben T., Janovský Z., Konečná M., Kühn I., Moravcová L., Petřík P., Pierce S., Prach K., Prokešová H., Štech M., Těšitel J., Těšitelová T., Večeřa M., Zelený D. & Pyšek P. (2021) Pladias database of the Czech flora and vegetation. – *Preslia* 93: 1–87.
- Inouye D. W. (2022) Climate change and phenology. – *WIREs Climate Change* 13(3): 1–17
- Jaeger B. (2017) r2glmm: Computes R Squared for Mixed (Multilevel) Models. – R package version 0.1.2, Dostupné z: <https://CRAN.R-project.org/package=r2glmm>

- Jakubowska-Gabara J. (1996) Decline of *Potentillo albae-Quercetum* Libb. 1933 phytocoenoses in Poland. – *Vegetatio* 124: 45–59.
- Jarkovský J., Littnerová S., Dušek L. (2012) Statistické hodnocení biodiverzity. – Akademické nakladatelství CERM, Brno.
- Jeník J. (1994) Obr. 16 Typy životních forem podle Raunkiäera. – In: Moravec J. et al. (1994), *Fytocenologie*, Academia, Praha.
- Jensen U. J., Lawesson E. J., Baslev H., Forchhammer C. M. (2004) Predicting the distribution of *Capinus betulus* in Denmark with Ellenberg's Climate Quotient. – *Nordic Journal of Botany* 23(1): 57–67.
- Jentsch A., Kreyling J. & Beierkuhnlein C. (2007) A new generation of climate-change experiments: events, not trends. – *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7): 365–374.
- Kaplan Z., Danihelka J., Chrtek J. jun., Kirschner J., Kubát K., Štech M. & Štěpánek J. (eds) (2019) Klíč ke květeně České republiky. Ed. 2. – Academia, Praha.
- Kaplan Z. (2000) *Galium* L. – svízel. – In: Slavík B., Chrtek J. jun. & Štěpánková J. (eds), *Květena České republiky* 6, p. 122–156, Academia, Praha.
- Kim J. H., Hwang T., Yang Y., Schaaf C. L., Boose E. & Munger J. W. (2018) Warming-induced earlier greenup leads to reduced stream discharge in a temperate mixed forest catchment. – *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 123: 1960–1975.
- Kiedrzyński M., Jakubowska-Gabara J. & Kurowski J. (2010) 91I0 – Dąbrowy ciepłolubne *Quercetalia pubescenti-petraeae*. – In: Mroza W. (red) *Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Część I*, p. 255-269, GIOŚ, Warszawa.
- Kjučukov P., Karlík P., Hofmeister J. (2022) Analýza seznamu zvláště chráněných druhů rostlin České republiky ve vztahu k lesům a lesnictví. – *Zprávy lesnického výzkumu* 67(2): 110–121.
- Klotz S., Kühn I. & Durka W. (eds) (2002) BIOLFLOR – Eine Datenbank zu biologisch-ökologischen Merkmalen der Gefäßpflanzen in Deutschland. – *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 38: 1–334.

- Kolbek J., Mladý F. & Petříček V. (1999) Květena Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Křivoklátsko 1. Mapy rozšíření cévnatých rostlin. – AOPK ČR, Praha.
- Kolbek J. & Vítková M. (1999) Long-term Monitoring of Changes of Forest and Meadow Communities in the Křivoklátsko Protected Landscape Area and Biosphere Reserve. – Botanický ústav AV ČR, Průhonice.
- Kolbek et al. (2003) Vegetace Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Křivoklátsko 3. Společenstva lesů, křovin, pramenišť, balvanišť a acidofilních lemů. – Academia, Praha.
- Kolbek J. (2011) Květena a vegetace Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Křivoklátsko – současný stav poznání botanického výzkumu. – *Bohemia centralis* 31: 147–182.
- Kołodziejek J., Patykowski J. & Wala M. (2017) Effect of light, gibberellic acid and nitrogen source on germination of eight taxa from disappearing European temperate forest, *Potentillo albae-Quercetum*. – *Scientific Reports* 7: 13924.
- Kovanda M. (2000) *Campanula* L. – zvonek. – In: Slavík B., Chrtěk J. jun. & Štěpánková J. (eds), Květena České republiky 6, p. 726–748, Academia, Praha.
- Kovář P. (2004) 120 let od narození zakladatele curyšsko-montpelliérské školy fytoecologie. – *Živa* 6: 75.
- Krečmer V. (1980) Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. – Academia, Praha.
- Křivský (1980): Počasí. – In: Krečmer V. (1980) Bioklimatologický slovník terminologický a explikativní. – Academia, Praha.
- Kubát K. (1992) *Mercurialis* L. – bažanka. – In: Hejný S., Slavík B., Kirschner J. & Křísa B. (eds), Květena České republiky 3, p. 346–350, Academia, Praha.
- Kubát K. (1995) *Trifolium* L. – jetel. – In: Slavík B., Smejkal M., Dvořáková M. & Grulich V. (eds), Květena České republiky 4, p. 462–481, Academia, Praha.

- Kučera T. (1993) Geobotanický inventarizační průzkum PR Červený kříž. – Ms. [Depon. in: Správa CHKO Křivoklátsko, Zbečno].
- Kwiatkowska A. J. (1986) Reconstruction of the old range and the present-day boundary of a *Potentillo albae* Quercetum (Libb.) 1933 phytocoenosis in the Białowieża Primeval Forest landscape. – *Ekologia Polska* 34(1): 31- 45.
- Lanta, V., Liancourt, P., Altman, J., Černý T., Dvorský M., Fibich P., Götzenberger L., Hornych O., Miklín J., Petřík P., Pyšek P., Čížek L. & Doležal J. (2022) Determinants of invasion by single versus multiple plant species in temperate lowland forests. – *Biological Invasions* 24: 2513–2528.
- Lieth H. (1974) *Phenology and Seasonality Modeling*. – Springer, Berlin.
- Lindner M. (2000) Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. – *Tree Physiology* 20(5-6): 299–307.
- Lindner L., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer J. M. & Marchetti M. (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. – *Forest Ecology and Management* 259: 698–709.
- Ložek V. (2000) Biodiverzita, ekofenomény a geodiverzita: Bohatství živé přírody je chráněno rozmanitostí terénu. – *Vesmír* 79(130): 97-98.
- Ložek V., Kubíková J., Spryňar P. et al. (2005) Křivoklátsko. – In: Mackovčín P. & Sedláček M. (eds), *Chráněná území ČR, svazek XIII. Střední Čechy*, p. 737–804, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha.
- Ložek V. (2011) Postavení Křivoklátska v rámci české přírody a krajiny. – *Bohemia centralis* 31: 9–13.
- Mansfeld V., Křístek Š., Hruban R., Taubr K., Krystýn V., Smejkal J., Hubený J., Alptauer J., Dlabka M., Zlatník V., Boček M., Třeštík M., Turek K., Pěnička L. & Bystrický R. (2021) Oblastní plán rozvoje lesů, PLO 8 – Křivoklátsko a Český kras [Platnost 2022–2041]. – Ms. [Depon. in: ÚHÚL Brandýs nad Labem].

- McKee T. B., Doesken N. J. & Kleist J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. – Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology.
- Menzel A. & Fabian P. (1999) Growing season extended in Europe. – *Nature* 397: 659.
- Menzel A., Estrella N. & Fabian P. (2001) Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. – *Global Change Biology* 7: 657-666.
- Menzel A., Yuan Y., Matiu M., Sparks T. Scheifinger H., Gehrig R. & Estrella N. (2020) Climate change fingerprints in recent European plant phenology. – *Global Change Biology* 26(4): 2599–2612.
- Michalcová D. (2010) Co je to fytoocenologický snímek. – *Živa* 6: 265– 266.
- Midolo G., Axmanová I., Divíšek J., Dřevojan P., Lososová Z., Večeřa M., Kager D. N., Thuiller W., Bruelheide H., Ačić S., Attorre F., Biurrun I., Boch S., Bonari G., Čarni A., Chiarucci A., Čušterevska R., Dengler J., Dziuba T., Garbolino E., Jandt U., Lenoir J., Marcenò C., Rūsiņa S., Šibík J., Škvorec Ž., Stančić Z., Stanišić-Vujačić M., Svenning J.-C., Swacha G., Vassilev K. & Chytrý M. (2024) Diversity and distribution of Raunkiaer's life forms in European vegetation. – *Journal of Vegetation Science* 35(1): 1-15.
- Ministerstvo kultury ČSR (1978) Výnos o zřízení chráněné krajinné oblasti „Křivoklátsko“ 21 972/78.
- Ministerstvo kultury ČSR (1989) Výnos ministerstva kultury České socialistické republiky č. j. 3.500/89-SOP ze dne 19. ledna 1989 o zřízení státních přírodních rezervací “HRADEC“, “KUCHYŇKA“, “VYMYŠLENSKÁ PĚŠINA“, “ČERVENÝ KŘÍŽ“, “RANSKÁ BAHNA“, “DOUBEK“, “KNĚHYNĚ – ČERTŮV MLÝN“, “RADHOŠŤ“, “VRAPAČ“, “RAŠELINIŠTĚ SKŘÍTEK“ a státních rezervací “PULČÍN – HRADISKO“, “ŠERÁK – KEPRNÍK“ a jejich ochranných pásem.
- Moravec J. et al. (1994): Fytoocenologie. – Academia, Praha.
- Mráz K. (1958) Contribution to the knowledge of the position of *Potentillo albae*-*Quercetum*. – *Archiv für Forstwesen* 7(9): 703-728.



- National Drought Mitigation Center (2018) SPI generator, Version 1.7.5. – University of Nebraska, Lincoln. [počítačový program pro platformu OS WIN]. Dostupné z: <https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>
- Náhlík A., Borkowski J. & Király G. (2005) Faktors affecting the winter-feeding ekology od red deer. – *Wildlife Biology in Practice* 1 (1): 47–52.
- Němeček J., Macků J., Vokoun J., Vavříček D. & Novák P. (2001) Taxonomický klasifikačný systém půd České republiky. – Česká zemědělská univerzita, Praha.
- Novák P. (2022) Bylinné patro a jeho ekologický význam. – In: Rotter P. & Purchart L. (eds), *Ekologie lesa. Jak se les mění a funguje*, p. 264–272, Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Parmesan C. & Hanley E. M. (2015) Plants and climate change: complexities and surprises. – *Annals of Botany* 116(6): 849–864.
- Pekár S. & Brabec M. (2012) Moderní analýza biologických dat : lineární modely s korelacemi v prostředí r. – Masarykova univerzita, Brno.
- Perea R., Girardello M. & San Miguel A. (2014) Big game or big loss? High deer densities are threatening woody plant diversity and vegetation dynamics. – *Biodiversity and Conservation* 23: 1303–1318.
- Petřík P., Černý T., Kolbek J., Boublík K. & Kopecký M. (2009) Změny lesní vegetace v závislosti na vlivu zvěře v CHKO a BR Křivoklátsko. – *Zprávy České botanické společnosti* 44: 121-135.
- Petřík P., Černý T. & Boublík K. (2011) Impact of hoofed game and weather on the vegetation of endangered dry grasslands in the Křivoklátsko Biosphere Reserve (Czech Republic). – *Tuexenia* 31: 283–299.
- Pfister Ch. & Wanner H. (2021) *Climate and Society in Europe: Last Thousand Years*. – Haupt Verlag, Bern.
- Piao S., Liu Q., Chen A., Janssens I. A., Fu Y., Dai J., Liu L., Lian X., Shen M. & Zhu X. (2019) Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. – *Global Change Biology* 25(6): 1922–1940.

- Pielke Sr. R. A., Schellnhuber H. J. & Sahagian D. (2003) Nonlinearities in the Earth system. – Global Change Newsletter 55: 11–15.
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D. & R Core Team (2021) nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-152, Dostupné z: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Plíva K. (1971) Typologický systém ÚHUL. – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem.
- Pokorný R. (2021) Les a lesní hospodářství v ČR pod vlivem klimatické změny. – In: Fanta J., Petřík P. (eds), Jiné klima – jiný les, p. 21–32, Academia, Praha.
- Poleno Z., Vacek S. & Podrázský V. (2007) Pěstování lesů. I., Ekologické základy pěstování lesů. – Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy.
- Příbyl J. (2018): Botanická inventarizace přírodní rezervace Červený kříž v CHKO Křivoklátsko. – Ms., 54 p. [Bakalářská práce; depon. in: Knihovna ČZU, Praha]
- Quitt E. (1971): Klimatické oblasti Československa. – Academia, Praha.
- R Core Development Team (2022) R, version 4.2.1 – The R Foundation for Statistical Computing. Dostupné z: <http://cran.r-project.org>
- Raunkiaer C. (1905) Types biologiques pour la géographie botanique. – Oversigt over Det kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger 5: 347–437.
- Robinson P. J. & Henderson-Selles A. (1999) Contemporary Climatology. 2. ed. – Taylor & Francis, London.
- Roleček J. (2007) Formalized classification of thermophilous oak forests in the Czech Republic: what brings the Cocktail method?. – Preslia 79: 1–21.
- Roleček J. (2010) Fenomén subkontinentálních doubrav: dynamika, diverzita a historie jednoho neobyčejného společenstva. – Živa 6: 256.
- Roleček J. (2013) Teplomilné doubravy (*Quercetea pubescentis*). – In: Chytrý M. (ed.), Vegetace České republiky. 4. Lesní a křovinná vegetace, p. 296–346, Academia, Praha.

- Sádlo J., Pokorný P., Hájek P., Dreslerová D. & Cílek V. (2005) *Krajina a revoluce*. – Malá Skála, Praha.
- Seidl R. & Turner M. G. (2022) Post-disturbance reorganization of forest ecosystems in a changing world. – *Ecology* 119 (28).
- Schaminée J. H. J., Hennekens S. M., Chytrý M. & Rodwell J. S. (2009) Vegetation-plot data and databases in Europe: an overview. – *Preslia* 81: 173–185.
- Skalická A. (1995) *Genista* L. – kručinka. – In: Slavík B., Smejkal M., Dvořáková M. & Grulich V. (eds), *Květena České republiky* 4, p. 350–354, Academia, Praha.
- Skalický V. (1988) Regionálně fytogeografické členění. – In: Hejný S., Slavík B. (eds), *Květena České socialistické republiky*, Vol. 1, p. 103–121, Academia, Praha.
- Skoumalová-Hadáčová A. & Hrouda L. (2018) *Rostliny naší přírody: štětcem Anny Skoumalové, perem Lubomíra Hroudy*. – Academia, Praha.
- Skov F. & Svenning J.-C. (2004) Potential impact of climate change on the distribution of forest herbs in Europe. – *Ecography* 27: 366–380.
- Slavík B. (2004) *Solidago* L. – zlatobýl. – In: Slavík B., Štěpánková J. & Štěpánek J. (eds), *Květena České republiky* 7, p. 114–123, Academia, Praha.
- Soják J. (1995) *Potentilla* L. – mochna. – In: Slavík B., Smejkal M., Dvořáková M. & Grulich V. (eds), *Květena České republiky* 4, p. 283–314, Academia, Praha.
- Spinoni J., Vogt J. V., Naumann G., Barbosa P. & Dosio A. (2018) Will drought events become more frequent and severe in Europe?. – *International Journal of Climatology* 38: 1718–1736.
- Spyreas G. & Matthews J. W. (2006) Floristic Conservation Value, Nested Understory Floras, and the Development of Second-Growth Forest. – *Ecological Applications* 16(4): 1351–1366.
- Stefanowicz A. M., Kapusta P., Stanek M., Rola K. & Zubek S. (2022) Herbaceous plant species support soil microbial performance in deciduous temperate forests. – *Science of The Total Environment* 810.

- Svoboda M., Hayes M. & Wood D. (2012) Standardized Precipitation Index User Guide. – World Meteorological Organization, WMO-No. 1090, Geneva.
- Sykes M. T. (2009) Climate Change Impacts: Vegetation. – In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS), John Wiley & Sons, Ltd:Chichester.
- Štěpánková J. (2000) *Myosotis* L. – pomněnka. – In: Slavík B., Chrtek J. jun. & Štěpánková J. (eds), Květena České republiky 6, p. 216–234, Academia, Praha.
- Tichý L. (2002) JUICE – software for vegetation classification. – Journal of Vegetation Science 13: 451–453.
- Ústav pro hospodářskou úpravu lesů (2024) [online] Katalog mapových informací – Oblastní plány rozvoje lesů: Mapa typologická [cit. 25.01.2024]. Dostupné z: <https://geoportal.uhul.cz/DsU Hul/DsOprl/>
- Vacek S., Moucha P., Bílek L., Mikeska M., Remeš J., Simon J., Hynek J., Šrůtka P., Schwarz O., Mánek J., Baláš M., Dort M., Podrázský V., Hejcman M., Hejcmanová P., Málková J., Stonawski J., Bednařík J., Vacek Z., Malík K., Štícha V. & Bulušek D. (2012) Péče o lesní ekosystémy v chráněných územích ČR. – Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Vangansbeke P., Sanczuk P., Govaert S., De Lombaerde E. & De Frenne P. (2022) Negative effects of winter and spring warming on the regeneration of forest spring geophytes. – Plant Biology 24(6): 950-959.
- Vorel T. & Stárková M. (2011) Geological mapping – a tool for obtaining knowledge of geological structure and geological evolution in the Křivoklátsko Protected Landscape Area. – Bohemia centralis 31: 21–31.
- Walther G.-R. (2003) Plants in a warmer world. – Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 6(3): 169-185.
- Zahradníček P., Brázdil R., Štěpánek P. & Trnka M. (2021) Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961–2019. – International Journal of Climatology, Hoboken, Wiley 41(2): 1211–1229.

- Zahradníček P., Štěpánek P., Skalák P., Farda A. & Meitner J. (2022) Současné klima v České republice. – In: Marek M. (ed), Klimatická změna - příčiny, dopady a adaptace, p. 79–87, Academia, Praha.
- Zelený D. (2012) Poznámky k používání průměrných Ellenbergových indikačních hodnot při analýze vegetačních dat. – Zprávy České Botanické Společnosti 47: 159–178.
- Zellweger F., Coomes D., Lenoir J., Depauw L., Maes S. L., Wulf M., Kirby K. J., Brunet J., Kopecky M., Malis F., Schmidt W., Heinrichs S., den Ouden J., Jaroszewicz B., Buyse G., Spicher F., Verheyen K., De Frenne P. (2019) Seasonal drivers of understorey temperature buffering in temperate deciduous forests across Europe. – *Global Ecology and Biogeography* 28: 1774–1786.
- Zellweger F., De Frenne P., Lenoir J., Vangansbeke P., Verheyen K., Bernhardt-Römermann M., Baeten L., Hédli R., Berki I., Brunet J., Van Calster H., Chudomelová M., Decocq G., Dirnböck T., Durak T., Heinken T., Jaroszewicz B., Kopecký M., Máliš F., Macek M., Malicki M., Naaf T., Nagel T. A., Ortmann-Ajkai A., Petřík P., Pielech R., Reczyńska K., Schmidt W., Standovár T., Świerkosz K., Teleki B., Vild O., Wulf M. & Coomes D. (2020) Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. – *Science* 368: 772–775.
- Žigová A. (2011) Soil conditions at selected sites in the Křivoklátsko Protected Landscape Area. – *Bohemia centralis* 31: 95–104.

## 9 Seznam obrázků, grafů a tabulek

### Obrázky

<b>Obrázek č. 1:</b> Doubrava asociace <i>Potentillo albae-Quercetum</i> , lokalita Červený kříž.....	19
<b>Obrázek č. 2:</b> Typy životních forem dle Raunkiäera .....	32
<b>Obrázek č. 3:</b> Mapa CHKO Křivoklátsko s maloplošnými chráněnými územími.....	34
<b>Obrázek č. 4:</b> Mapa klimatických oblastí dle Quitta (1971) .....	35
<b>Obrázek č. 5:</b> Označení hranic PR Červený kříž.....	37
<b>Obrázek č. 6:</b> Typologická mapa PR Červený kříž.....	38
<b>Obrázek č. 7:</b> Fotografie z oplocené plochy v PR Červený kříž.....	39
<b>Obrázek č. 8:</b> Mapa umístění a designu trvalé oplocené a kontrolní plochy .....	40
<b>Obrázek č. 9:</b> Mapa průměrné roční teploty vzduchu v ČR za období 1991–2020.....	60
<b>Obrázek č. 10:</b> Mapa průměrných roční úhrnů srážek v ČR za období 1991–2020.....	60

### Grafy

<b>Graf č. 1:</b> Graf chodu průměrných ročních teplot v letech 1993–2023.....	48
<b>Graf č. 2:</b> Graf průběhu ročních úhrnů srážek v letech 1993–2023 .....	49

### Tabulky

<b>Tabulka č. 1:</b> Hodnoty ellenbergovských indikačních hodnot pro vybrané vzácné druhy .....	28
<b>Tabulka č. 2:</b> Hodnoty ellenbergovských indikačních hodnot pro vybrané dominanty.....	31
<b>Tabulka č. 3:</b> Rozšířená Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti .....	41
<b>Tabulka č. 4:</b> Klasifikace <i>SPI</i> hodnot do kategorií sucha podle McKee et al. (1993) .....	42
<b>Tabulka č. 5:</b> Hodnoty <i>SPI</i> (Standardized Precipitation Index) pro časová období 3, 6 a 12 měsíců a <i>ECQ</i> (Ellenbergova klimatického kvocientu) v letech 1993–2023.....	50
<b>Tabulka č. 6:</b> Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro oplocenou plochu za období 1993–2023 .....	52

<b>Tabulka č. 7:</b> Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro oplocenou plochu za období 2017–2023 .....	54
<b>Tabulka č. 8:</b> Výsledky lineárních modelů se smíšenými efekty pro kontrolní plochu za období 2017–2023 .....	56
<b>Tabulka č. 9:</b> Výsledková tabulka jednoduchých lineárních regresních analýz pro vybrané druhy bylinného patra za období 1993–2023 .....	58
<b>Tabulka č. 10:</b> Tabulka lesních vegetačních stupňů doplněná o jejich klimatické charakteristiky.....	61



## Samostatné přílohy

*Příloha č. 1: Fotografie okusu zvěře na habru obecném – Carpinus betulus (autor: A. Hroncová 27. 6. 2023).*

