

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra ekologie a životního prostředí



Habitatový model ohroženého jasoně dymnivkového  
jakožto vhodný nástroj pro ochranu druhu

Simona Otypková

Diplomová práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Mgr. v oboru

Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Kuras, Ph.D.

Olomouc 2023



**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Tomáše Kurase, Ph.D., s pomocí níže jmenovaných osob a s použitím citované literatury.

V Olomouci 16.5. 2023

.....

Podpis

Otypková S. 2023. Habitatový model ohroženého jasoně dymnivkového jakožto vhodný nástroj pro ochranu druhu. [diplomová práce]. Olomouc: Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci. 34 s. Česky.

## Abstrakt

V důsledku výrazných hospodářských změn se během uplynulých dvou století biodiverzita lesních druhů významně snížila. Ohrožen je i deštníkový druh světlých lesů jasoně dymnivkový (*Parnassius mnemosyne*), který nyní přežívá jen na několika izolovaných moravských lokalitách. Nástrojem k pochopení distribuce druhu v krajině a strategického plánování managementové ochrany stávajících populací jasoně je modelování distribuce druhu. K vytvoření habitatového modelu pro jasoně dymnivkového byl použit software MaxEnt, veškeré zpracování vstupních dat environmentálních podmínek a faunistických nálezů probíhalo v Geografickém informačním systému (GIS). Výběr parametrů pro MaxEnt probíhal metodou ENMevaluate v RStudios. Oblastí zájmu byla východní část České republiky (s rozlišením 25,55 x 25,55 m). Zhotovený habitatový model s vysokou přesností (AUC = 0,843) predikuje vhodné oblasti pro výskyt druhu (zejména Beskydy, Bílé Karpaty, Poodří) a shoduje se s recentními i historickými nálezy. Nejvýznamnějšími prediktory se ukázalo zapojení korunového patra (lesnatost) spolu s vrstvou biotopů jasoně dymnivkového (dohromady 71 %) a nadmořská výška (11 %). Habitatový model jasoně dymnivkového lze považovat za vhodný nástroj plánování strategické ochrany druhu na regionální a nadregionální měřítkové úrovni.

**Klíčová slova:** Česká republika, modelování distribuce druhu, lesnatost, nadmořská výška, MaxEnt, *Parnassius mnemosyne*

Otypková S. 2023. Habitat modeling as an effective approach for the conservation of the endangered Clouded Apollo butterfly. [diploma thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University of Olomouc. 34 pp. Czech.

## Abstract

As a result of significant forest management changes, the biodiversity of forest species has declined significantly over the past two centuries. Even the umbrella species of light forests, the Clouded Apollo (*Parnassius mnemosyne*) is threatened and survives only in a few isolated Moravian localities. The MaxEnt software was chosen to create a habitat model for the Clouded Apollo, and all input data processing of environmental conditions and faunistic findings was performed in the Geographic Information System (GIS). Parameter selection for MaxEnt was performed using the ENMevaluate method in RStudio. The area of interest was the eastern part of the Czech Republic (with a resolution of 25.55 x 25.55 m). The habitat model with high accuracy (AUC = 0.843) predicts suitable areas for the species (especially Beskydy, White Carpathians, Poodří) and agrees with recent and historical records. The most significant predictor was found to be the tree cover density together with the habitat layer of the Clouded Apollo (71 %) and altitude (11 %). The habitat model of the Clouded Apollo can be considered a suitable tool for strategic conservation planning of the species at regional and supra-regional scales.

**Keywords:** altitude, Czech Republic, distribution modeling, MaxEnt, *Parnassius mnemosyne*, tree cover density

# Obsah

Seznam obrázků .....	vii
Seznam tabulek .....	viii
Úvod.....	1
Cíle práce .....	4
Materiál a metody .....	5
Zájmový druh jasoně dymnivkový .....	5
Zájmové území a příprava dat.....	6
Výsledky .....	10
Modelovaná distribuce jasoně dymnivkového.....	10
Významnost proměnných v habitatovém modelu.....	13
Diskuse.....	17
Možné limity habitatového modelu jasoně dymnivkového .....	17
Prediktory habitatového modelu .....	18
Habitatový model jakožto nástroj k ochraně druhu .....	19
Závěr .....	21
Seznam použité literatury .....	22
Přílohy.....	28

## Seznam obrázků

- Obr. 1:** Výsledný habitatový model znázorňující potenciální distribuci vhodných oblastí výskytu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) ve východní části České republiky. Výstup z MaxEnt, upraveno v ArcMap (modelováno na rozlišení 25 x 25 m). ..... 10
- Obr. 2:** Křivka senzitivity a specificity (*Receiver operating characteristic curve*) habitatového modelu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*), uvádí hodnotu AUC = 0,843 (*Area under curve*), což značí středně vysokou přesnost modelu. Modrá plocha značí směrodatnou odchylku deseti testů křížové validace (*cross-validation*) a červená křivka jejich průměr. .... 12
- Obr. 3:** Určení prahové hodnoty na ose *x* na základě křivky „*ommission rate*“ (zelená) v průsečíku s křivkou předpovídaného území (červená). Osa *y* vynáší, kolik procent všech náleзовých dat jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) se nenachází v dané prahové hodnotě habitatového modelu. .... 13
- Obr. 4:** Významnost proměnných pro habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na základě trénovací množiny dat. Zelená znázorňuje kvalitu modelu bez dané proměnné, modrá znázorňuje kvalitu za použití pouze dané proměnné. .... 14
- Obr. 5:** Významnost proměnných pro habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na základě testovací množiny dat. Zelená znázorňuje kvalitu modelu bez dané proměnné, modrá znázorňuje kvalitu za použití pouze dané proměnné. .... 15
- Obr. 6:** Významnost proměnných pro habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na základě AUC hodnoty. Zelená znázorňuje kvalitu modelu bez dané proměnné, modrá znázorňuje kvalitu za použití pouze dané proměnné. .... 15
- Obr. 7:** Reakční křivky habitatového modelu jasoně dymnivkového pro všech šest kontinuálních proměnných (*treecov* = zapojení korunového patra; *vyska* = nadmořská výška; *prec\_i* = průměrné srážky v období letu imaga; *solar\_rad* = solární radiace; *bio3* = izotermie; *bio15* = sezonalita srážek) a sloupcový graf kategorické proměnné (*l\_1\_vzd* = kat. 1. – biotopy imaga; kat. 2. – biotopy r. *Corydalis.*; kat. 3. – zbylá část zájmového území). Modrá barva značí směrodatnou odchylku a červená křivka průměr hodnot. .... 16

## Seznam tabulek

- Tab. 1:** Vybrané nekorelované mapové podklady ( $r > 0,7$ ) z celkem 35 uvažovaných vrstev kontinuálních dat. Korelace proběhla v programu ArcMap (*Remove highly correlated variables*). Vrstva biotopů do modelu vstupuje jako kategorická proměnná..... 7
- Tab. 2:** Jednotlivé kategorie květnatých biotopů imaga a lesních biotopů s přítomností živé rostliny housenek r. *Corydalis*. Dohromady tvoří jednu kategorickou proměnnou vrstvu..... 8
- Tab. 3:** Dílčí část výsledků testování podkladových map a výběr vhodného nastavení sw. MaxEnt. Pro nastavení analýzy v MaxEnt jsem vybrala v pořadí druhý vztah mezi testovanými proměnnými (v Tab. je tento **proznačen**)..... 9
- Tab. 4:** Relativní a absolutní významnost proměnných pro výsledný habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) rozšíření jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) ve východní části České republiky..... 14



## Poděkování

Ráda bych vyjádřila velký dík vedoucímu práce RNDr. Tomášovi Kurasovi, Ph.D. za veškerý věnovaný čas, odborné rady a laskavou podporu. Velkou zásluhu na této práci má také Ing. Marek Bednář, Ph.D., který mi s trpělivostí byl nápomocen při práci v programu ArcMap. Speciální poděkování patří i spolužákovi Cabimu za bezmeznou pomoc a sdílení všech strastí. Velmi vděčná jsem všem svým nejbližším, rodině a přátelům, kteří při mně stáli za každé situace.

## Úvod

Jasoň dymnivkový (*Parnassius mnemosyne* Linnaeus, 1758) patří k prioritám druhové ochrany většiny evropských zemí (Weiss 1999; Beneš et al. 2002). Z mezinárodního hlediska je jasoň chráněný směrnicí Rady 92/43/EHS (uvedený v příloze IV., vyžadující přísnou ochranu) a tzv. Bernskou úmluvou (příloha II., přísně chráněné druhy živočichů). Národní legislativa druh klasifikuje jako zvláště chráněný (*sensu* zák. 114/1992 Sb., v platném znění) v kategorii kriticky ohrožený (vyhl. 395/1992 Sb. v platném znění). Jasoň je současně řazený do Evropského červeného seznamu (van Swaay et al. 2010) a je veden i v národních červených seznamech celkem 28 evropských zemí [např. Švédsko (SLU Artdatabanken 2020), Finsko (Hyvärinen et al. 2019), Německo (Hofmann et al. 2011), Česká republika (Hejda et al. 2017)].

Příčiny ohrožení motýla jsou v podstatě dobře známé a popsány (Kudrna 1986; Konvička a Kuras 1999; Bergström 2005; Vestin et al. 2018). Mezi tyto patří rozsáhlý ústup především nížinných světlých listnatých lesů, které reprezentují biotop druhu, nebo jejich převod na jiný typ lesního porostu. Druh je evolučně adaptovaný ke stopování nově vznikajících světlin (a sukcesně zanikajících stanovišť). Taková stanoviště ale přirozeně vznikají v dostatečném počtu pouze na velkých lesních celcích s přirozenou lesní dynamikou (Vera 2000). Roli velkých herbivorů a přirozených ekosystémových procesů, kdy v lesních porostech spontánně vznikaly světliny (gapy), v prostředí postupně cca od středního holocénu přebírá člověk (cf. Anthony 2007; Vacík et al. 2009). Lze se domnívat, že především období raného a pozdního středověku bylo ve střední Evropě pro lesní světlinové druhy obdobím příznivým, a to díky specifickému lesnímu hospodaření (Konvička et al. 2006a; Buček 2019; Buckley 2020). Charakter světlých lesů v historii pomáhalo udržovat lesní hospodaření s významně kratší a prostorově rozmanitou dobou obmytí lesa. Výmladkové hospodaření vytvářelo tzn. nízký les (nebo střední les v případě ponechaných různověkových výstavků) a formovalo různorodou, veskrze dostatečně prosvětlenou lesní mozaiku. Přejít na moderní produkční lesnictví vedl k výraznému poklesu druhové rozmanitosti lesních taxonů, přičemž řada z nich se stala vzácnými a ohroženými, nebo začala lokálně vymírat (Megléczy et al. 1999; Bergström 2005). Mezi principiální změny, které vyvolal produkční systém lesního hospodářství, patří vznik věkově a druhově uniformních lesních porostů, a to na velkých prostorových škálách. Tento systém také znamená

částečnou změnu dřevinné skladby (Konvička et al. 2006a; Unrau et al. 2018; Buckley 2020). Uvedené změny v hospodaření neměly negativní vliv pouze na jasoně, ale na celou řadu dalších, syntopicky se vyskytujících, heliofilních druhů hmyzu i rostlin. Zákonem chráněný, veřejností oblíbený a dostatečně prostudovaný jasoně dymnivkový má tedy ochranný význam nejen z pohledu jeho ohroženosti, ale je současně deštníkový a vlajkový druh (Simberloff 1998) ochrany světlých listnatých lesů jakožto zanikajícího ekosystému (cf. Konvička et al. 2006b; Cini et al. 2020).

Především změny v pěstování lesa, zvýšený tlak na produkci dřevní hmoty a odklon od dřívějších postupů hospodaření člověka v lesích, vedl k velmi výrazným změnám v distribuci jasoně a zániku množství lokálních populací v celé Evropě (cf. Väisänen a Somerma 1985; Bergström 2005; Cini et al. 2020). Alarmující je i situace v České republice, kde se jasoně dymnivkový vyskytoval ještě v první polovině 20. století na většině území Moravy a řadě lokalit středních, západních a severních Čech. V roce 1995 vyhynula poslední česká populace v Polabských luzích (Vrabec 2021) a jeho rozšíření se dnes v České republice koncentruje výhradně na Moravu, a to do několika izolovaných oblastí (Kuras et al. 2000; Beneš a Konvička 2002; Příloha 1). Zánik lokálních populací jasoně, zmenšení rozlohy i konektivity původních stanovišť, primárně v důsledku lesní hospodářské činnosti i probíhajících sukcesních změn, vedou ke ztrátě genetické diverzity, ať již zamezením genového toku izolovaných populací nebo v důsledku inbreedingu a *bottle-neck* efektu (Megléczy et al. 1997, 1999). Proto u nás sílí snahy o aktivní ochranu druhu (Šebek et al. 2013; Vrabec 2021), obdobně jako v zahraničí (Kuussaari et al. 2015; Westin et al. 2018).

Ochranná opatření na ochranu jasoně dymnivkového se v České republice soustřeďují vesměs na legislativní ochranu, tedy ochranu, která *de jure* omezuje některé rozvojové aktivity a hospodářské činnosti v místech výskytu druhu. Aktivních propopulačních opatření je poměrně málo a jsou vesměs součástí plánů péče o zvláště chráněná území (CHKO). Navzdory některým úspěšně realizovaným managementovým opatřením na lokalitách s výskytem druhu se postupné plošné vymírání jasoně nedaří zastavit (cf. Kuras 2000; Beneš a Konvička 2002). Začíná být zřejmé, ochranné aktivity nelze koncentrovat výhradně na ochranu přežívajících populací, je třeba klást důraz na celkový kontext krajiny, který je důležitý pro metapopulační dynamiku druhu a hledat vhodná místa, která by zajistila další perspektivu izolovaných populací, případně podpořila konektivitu stávajících populací (cf. Hanski a Thomas 1993).

Vhodným nástrojem pro modelování významu podmínek prostředí na středních a velkoprostorových škálách je SDM (*Species Distribution Modeling*). Jedná se o nástroj prostorové analýzy, kterým lze na základě kombinace geografických informačních dat vyhodnotit klíčové faktory prostředí, jenž determinují distribuci cílových druhů v krajině. Současně lze SDM použít pro modelování potenciálně vhodných míst (lokalit), které odpovídají parametrům výskytu druhů (Phillips et al. 2006; Franklin 2009; Pearson 2010). SDM je vhodný nástroj ochranné praxe, jehož přínos můžeme hledat právě v případě druhů s vyhraněnými vazbami na prostředí a s izolovanými populacemi (cf. Jacinto-Padila et al. 2017; Zhang et al. 2020).

## Cíle práce

Přestože je ekologie a bionomie jasoně dymnivkového zevrubně známa, ochranářský status druhu má stále klesající trend. Středoevropské populace jasoně dymnivkového jsou tak bezprostředně ohrožené a vymírají i na zbývajících lokalitách. Pro ochranu druhů je tedy potřeba uplatnit komplexnější přístup hodnocení, který bude zahrnovat podstatně větší území, než by odpovídalo jednotlivým lokalitám. Takovýto ochranářsko-analytický přístup zpracování dat nabízí SDM (habitatový model), který pracuje na velkoprostorové škále krajinné mozaiky.

Cílem předložené diplomové práce je tedy (i) GISová analýza mapových podkladu a nálezových dat jasoně dymnivkového a jejich analytické vyhodnocení, (ii) zhodnocení jednotlivých digitálních podkladu v programu MaxEnt a vytvoření habitatového modelu druhu, (iii) interpretace habitatové mapy a zhodnocení habitatových preferencí a vhodnosti stávajících biotopů na základě vytvořeného habitatového modelu pro praktickou ochranu motýla.

## Materiál a metody

### Zájmový druh jasoň dymnivkový

Jasoň dymnivkový je univoltinní, protandrický druh s palearktickým areálem rozšíření. Imaga se u nás v teplejších oblastech objevují na začátku května. Hlavní období letu motýlů probíhá od konce května do poloviny června. Ve vyšších polohách a v chladnějších letech se jednotliví motýli mohou vyskytovat až do začátku července. Samice kladou vajíčka na prosluněné plochy s hojným výskytem živných rostlin monofágních housenek. Populace v České republice se vyvíjejí přednostně na dymnivce plné (*Corydalis solida*) a d. bobovité (*C. intermedia*) (Macek et al. 2015; Vlašánek et al. 2017), vývoj na ostatních dymnivkách je možný (Schwarz 1948). Přes zimu hibernují vyvinuté housenky ve vajíčku. Imaga jasoně žijí 2–3 týdny, za slunečných dní motýli vyhledávají kvetoucí nektarodárné rostliny (*Cirsium rivulare*, *Trifolium pratense*, *Anthriscus sylvestris*, *Taraxacum* sp., *Veronica* sp. aj.) (Schwarz 1948; Beneš et al. 2002). Bionomii druhu zevrubně popisují např. Kudrna a Seufert 1991; Viidalepp 2000; Välimäki a Itämies 2005.

Jasoň má relativně širokou ekologickou amplitudu a vyskytuje se od říčních údolí v nížinách až po horní hranici lesa (SBN 1994; Viidalepp 2000; Aagaard et al. 2009). V severní Evropě vyhledává polopřirozené pastviny (Luoto et al. 2001; Meier et al. 2005) a ve střední a západní Evropě se vyskytuje v lesostepích, řídkých listnatých lesích, mýtinách a lesních lemech (Konvička a Kuras 1999; Ruchin 2018). Přítomnost motýla na lokalitě determinuje dostatek slunečního záření (Välimäki a Itämies 2005; Kuussaariho et al. 2015) a výskyt živných rostlin housenek.

Recentní ojedinělé zastoupení vhodných habitatů v kombinaci s omezenou migrační schopností motýla (Meglécz et al. 1999) vede k izolovanosti jednotlivých populací. Vlivem genetického driftu a inbreedingu se následně snižuje jejich genetická variabilita (Napolitano a Descimon 1994; Meglécz et al. 1998). V CHKO Litovelské Pomoraví bylo zjištěno, že průměrný dolet samce je 311 m ( $\pm 432$ ) (maximální 2 550 m). U samic byl průměrný dolet 232 m ( $\pm 249$ ) (maximální 1 200 m) (Konvička a Kuras 1999). V jiných studovaných populacích se měřená doletová vzdálenost lišila v řádech desítek metrů (Välimäki a Itämies 2003; Sang 2007; Gorbach a Kabanen 2010).

## Zájmové území a příprava dat

Vzhledem k charakteru dostupných mapových podkladů a recentnímu rozšíření jasoně v České republice (tj. pouze východní část státu), bylo jako zájmové území vymezeno území zahrnující kraj Moravskoslezský, Olomoucký, Pardubický, Zlínský, Jihomoravský a kraj Vysočina. Všechny mapové podklady (Tab.1) jsem upravovala a sjednocovala v softwaru ArcGIS for Desktop 10.4. pro následné vytvoření modelu v softwaru MaxEnt. Postupovala jsem podle metodiky z webových stránek Integrative Evolutionary and Conservation Biology Lab (<https://sites.google.com/site/thebantalab/>), kde jsou k dispozici doporučené postupy jak pro předzpracování dat, tak postupy pro práci v programu MaxEnt, viz také Phillips (2017).

Všechny další mapové podklady jsem ořezala na zájmové území výše uvedených krajů. Podle vrstvy Tree Cover jsem sjednotila velikost pixelů na 25,55 x 25,55 m a nastavila stejný souřadnicový systém S-JTSK Křovák East-North. Vektorovou vrstvu biotopů jsem převedla na data rastrová. V softwaru ArcMap v rozšíření SDM Toolbox jsem provedla korelaci (*Remove highly correlated variables*) 35 vrstev s kontinuálními daty (Příloha 2) se zvoleným korelačním koeficientem 0,7. Celkem 29 vrstev bylo analýzou odstraněno jako vysoce korelující a do výsledného modelu bylo vybráno 6 mapových podkladů (Tab. 1). Do modelu jsem dodatečně zahrnula kategorickou proměnnou biotopů jasoně (tuto z podstaty charakteru dat nelze v korelaci hodnotit). Finální model tedy implementuje 7 mapových podkladů. Níže popisuji individuální úpravu pouze použitých vrstev.

**Tab. 1:** Vybrané nekorelované mapové podklady ( $r > 0,7$ ) z celkem 35 uvažovaných vrstev kontinuálních dat. Korelace proběhla v programu ArcMap (*Remove highly correlated variables*). Vrstva biotopů do modelu vstupuje jako kategorická proměnná.

Mapová vrstva (vydání dat)	Použité kategorie	Dostupné z:
<b>Biotopy jasoně (2022)</b>	<b>Biotopy (l_l_vzd)</b> = L2.1., L2.2., L2.3., L3.1., L3.3., L3.4, L4., L5.1., L5.2., L5.3., L6.3, T1.1, T1.5, X10	Odvozeno ze základní vrstvy mapování biotopů, <a href="https://data.nature.cz/ds/21">https://data.nature.cz/ds/21</a> ; © AOPK ČR
<b>Globální zapojení korunového patra (2010)</b>	<b>treecov</b> = procentuální korunový zápoj zájmového území	Hansen et al. <a href="https://glad.umd.edu/dataset/global-2010-tree-cover-30-m">https://glad.umd.edu/dataset/global-2010-tree-cover-30-m</a>
<b>Bioklimatické podmínky (2020)</b>	<b>bio3, bio15</b>	© WorldClim <a href="https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html">https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html</a>
<b>Průměrné srážky v období letu imaga (2020)</b>	<b>prec_i</b> = průměr za měsíc květen a červen	© WorldClim; odvozeno z dat dostupných na: <a href="https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html">https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html</a>
<b>Solární radiace</b>	<b>solar_rad</b> = měsíční průměry roku 2010	Vypočítáno z DMR 5G v ArcMap, © 2010 ČÚZK
<b>Výškopis - DMR 5G (2016)</b>	<b>vyska</b> = nadmořská výška (149 - 1482 m n.m.)	Výškový model ArcGIS online, © 2010 ČÚZK

### Nálezová data jasoně dymnivkového

Z Nálezové databáze ochrany přírody (dále NDOP; [ndop.nature.cz](http://ndop.nature.cz)) jsem získala za období od 1.1.2010 do 4.4.2023 celkem 1871 nálezů motýla. Díky vysokému počtu údajů v databázi NDOP bylo možné docílit vysoké přesnosti aktuálního výskytu druhu v zájmovém území a tedy i větší přesnosti modelu. Protože z řady pravidelně navštěvovaných lokalit pochází v dtb. NDOP disproporčně více údajů, než z lokalit jiných, bylo potřeba provést redukci nálezů tak, aby v modelážích nedocházelo k multiplikaci významu dané lokality, na úkor lokalit jiných. Při zpracování nálezových dat jsem proto kolem bodů uvádějících záznam vytvořila buffer o poloměru 30 m a ponechala z překrývajících se lokalit vždy jen jedinou (takto jsem z datové vrstvy odstranila cca 700 překrývajících se nálezů). Výstupem pro následné zpracování nálezových dat je tabulka ve formátu „.csv“.

### Mapová vrstva biotopů jasoně

Aktualizovanou vrstvu Základní mapování biotopů (© AOPK ČR) jsem využila na vytvoření dvou mapových podkladů: (a) vrstvu biotopů s živnou rostlinou housenek (Chytrý et al. 2010; Pladias – databáze české flóry a vegetace) (Tab. 2); (b) vrstvu



preferovaných biotopů jasoně, kterou jsem zhotovila na základě náhodného výběru  $\pm 200$  nálezových bodů v zájmovém území. Do obou výběrů jsem zahrнула také biotopové mozaiky. Pro částečnou simulaci stanovištních nároků jasoně jsem porovnála vzájemné vzdálenosti lesních polygonů s výskytem dymnivky (*Corydalis* sp.) s biotopy nelesními (typickými pro přítomnost imag). Na základě doletových vzdáleností imag jasoně (*sensu* Konvička a Kuras 1999; Välimäki a Itämies 2003) jsem do výsledné spojené vrstvy zahrнула pouze ty biotopy (lesní s *Corydalis* sp. + nelesní), které se od sebe nacházely ve vzájemné vzdálenosti  $\leq 225$  m.

**Tab. 2:** Jednotlivé kategorie květnatých biotopů imaga a lesních biotopů s přítomností živné rostliny housenek r. *Corydalis*. Dohromady tvoří jednu kategoričnou proměnnou vrstvu.

Lesní biotopy s <i>Corydalis</i> sp.		Květnaté biotopy imaga	
L2.1	Horské olšiny s olší šedou	T1.1	Mezofilní ovsíkové louky
L2.2	Údolní jasanovo-olšové luhy	T1.5	Vlhké pcháčové louky
L2.3	Tvrde luhy nížinných řek	X10	Lesní paseky a holiny
L3.1	Hercynské dubohabřiny		
L3.3	Karpatské dubohabřiny		
L3.4	Panonské dubohabřiny		
L4	Sut'ové lesy		
L5.1	Květnaté bučiny		
L5.2	Horské klenové bučiny		
L5.3	Vápnomilné bučiny		
L6.3	Panonské teplomilné doubravy		

### Mapová vrstva solární radiace

Průměrnou roční solární radiaci jsem vytvořila z výškového modelu (ArcGIS online, DMR 5G) pro rok 2010 za použití nástroje „Area solar radiation“.

### Mapová vrstva bioklimatických podmínek

Pro analýzu byly korelací zvoleny 2 z 19 bioklimatických vrstev, a to BIO3 – izotermičnost (uvádí míru rozkolísanosti teplot) a BIO15 – sezonalita srážek (variační koeficient míry rozkolísanosti měsíčních srážek k hodnotám dlouhodobého průměru). Průměrné měsíční srážky ( $prec\_i$ ) v období letu imaga (květen, červen) jsem vytvořila zprůměrováním dvou dostupných vrstev průměrných měsíčních srážek z WorldClim v ArcMapu.

### Bias soubor a ENMevaluate skript v programu RStudio

Pro eliminaci nerovnoměrného rozložení vzorků v zájmovém území jsem vytvořila tzv. bias soubor (za použití R-package *MASS*), který jsem poté vložila do programu MaxEnt. Použitím R skriptu *ENMeval* (Příloha 3) jsem zjistila nejlepší nastavení dle nulové hodnoty AICc (Akaikeho informační kritérium) (Tab. 3). Výsledky reakčních křivek tohoto nastavení nereflektovaly reálnou odpověď druhu. Problém je způsobem složitostí všech vybraných vztahů. Proto jsem použila druhé nejlepší nastavení, které je interpretačně vhodnější a přesnosti modelu téměř neubralo. Klíčové nastavení pro MaxEnt jsou v případě mých dat tři nabízené možnosti vztahů mezi uvažovanými daty (*linear, quadratic, hinge a product features*) s hodnotou regularizačního parametru (*Regularization multiplier*) 1. Vzhledem k rozsáhlosti zájmového území a velkému počtu nálezových dat jsem v MaxEntu nastavila 10 000 „background points“. Pro ověření prediktivní přesnosti modelu jsem zvolila křížovou validaci (*cross-validation*) s 10 opakováními (Příloha 4).

**Tab. 3:** Dílčí část výsledků testování podkladových map a výběr vhodného nastavení sw. MaxEnt. Pro nastavení analýzy v MaxEnt jsem vybrala v pořadí druhý vztah mezi testovanými proměnnými (v Tab. je tento **proznačen**).

	fc	rm	auc. tra n	cbi. tra n	auc. diff. avg	auc. diff. sd	auc. val. avg	auc. val. sd	cbi. val. avg	cbi. val. sd	or. 10p. avg	or. 10p. sd	or. mtp. avg	or. mtp. sd	AICc	Delta AICc	w. AIC	ncoef
1	L	1	0,79	0,99	0,01	0,01	0,79	0,01	0,95	0,03	0,10	0,03	0,001	0,003	31330,10	1011,72	2,03	8
2	LQ	1	0,83	0,99	0,02	0,01	0,82	0,01	0,96	0,02	0,10	0,02	0,001	0,003	31057,11	738,76	3,80	11
3	LQH	1	0,86	0,99	0,02	0,01	0,86	0,02	0,96	0,02	0,11	0,03	0,001	0,003	30414,30	95,96	1,45	45
<b>4</b>	<b>LQHP</b>	<b>1</b>	<b>0,87</b>	<b>0,99</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,86</b>	<b>0,02</b>	<b>0,96</b>	<b>0,03</b>	<b>0,11</b>	<b>0,03</b>	<b>0,002</b>	<b>0,006</b>	<b>30364,80</b>	<b>46,45</b>	<b>8,19</b>	<b>41</b>
5	LQHPT	1	0,88	0,99	0,01	0,01	0,87	0,01	0,96	0,02	0,11	0,04	0,001	0,003	30318,35	0	1,00	69
6	L	2	0,79	0,99	0,01	0,01	0,79	0,02	0,95	0,02	0,10	0,02	0,001	0,003	31349,44	1031,09	1,26	8

## Výsledky

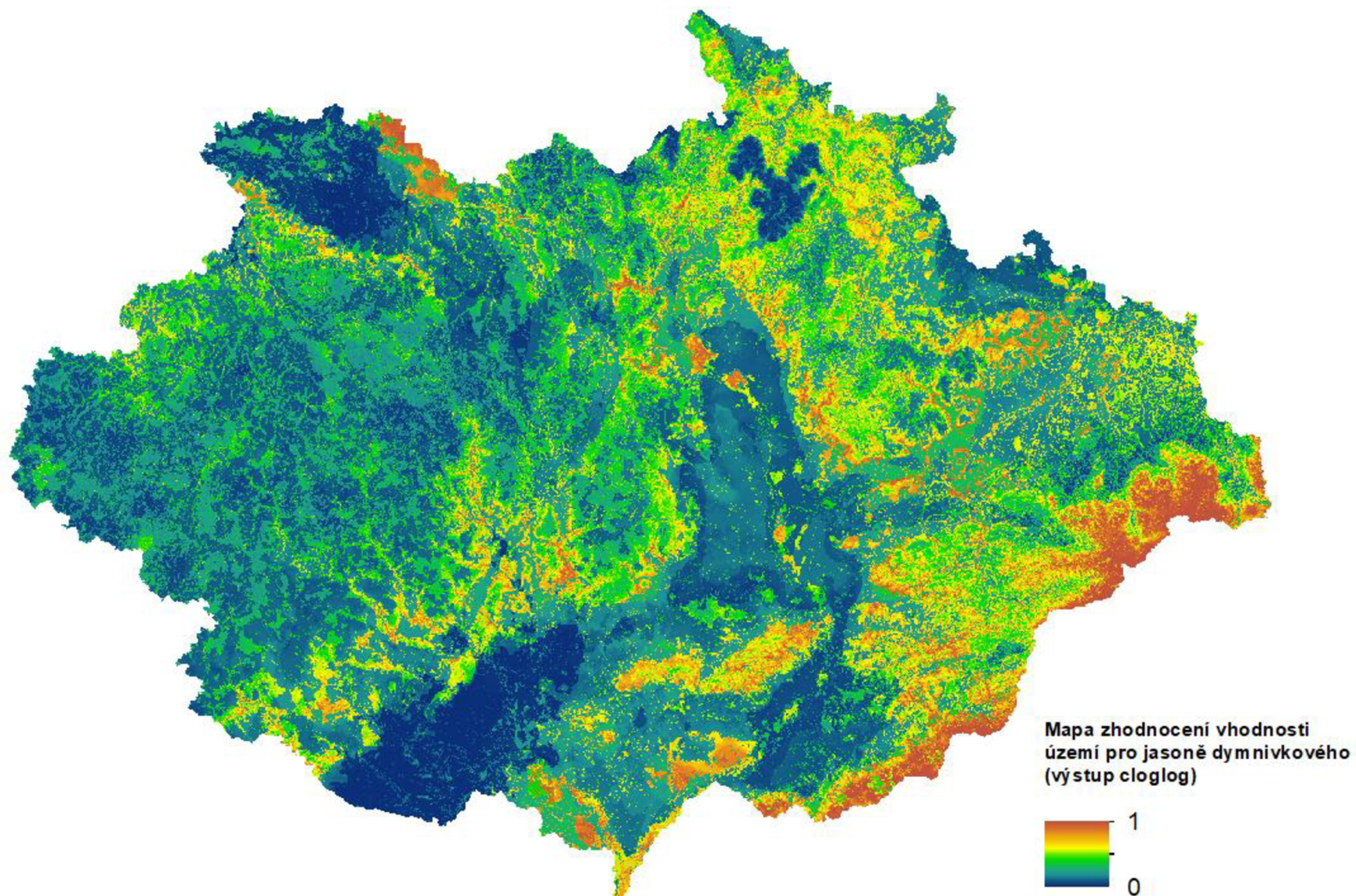
### Modelovaná distribuce jasoně dymnivkového

K vytvoření habitatového modelu jasoně dymnivkového v zájmovém území východní části České republiky jsem použila sw. MaxEnt. Model vychází ze 7 aktuálních mapových pokladů a 1 147 recentních nálezů jasoně dymnivkového (od r. 2010). Ty mají v zájmovém území nerovnoměrnou distribuci. Faunistické záznamy výskytu jasoně pocházejí z několika oblastí, tj. Králického Sněžníku a Hanušovické vrchoviny (20 %), Nížkého Jeseníku (11 %), Bílých Karpat, Javorníků a Vizovické vrchoviny (11 %), Jevišovické pahorkatiny (18 %), Moravského krasu (27 %), Pálavy a Valtické pahorkatiny (9 %).

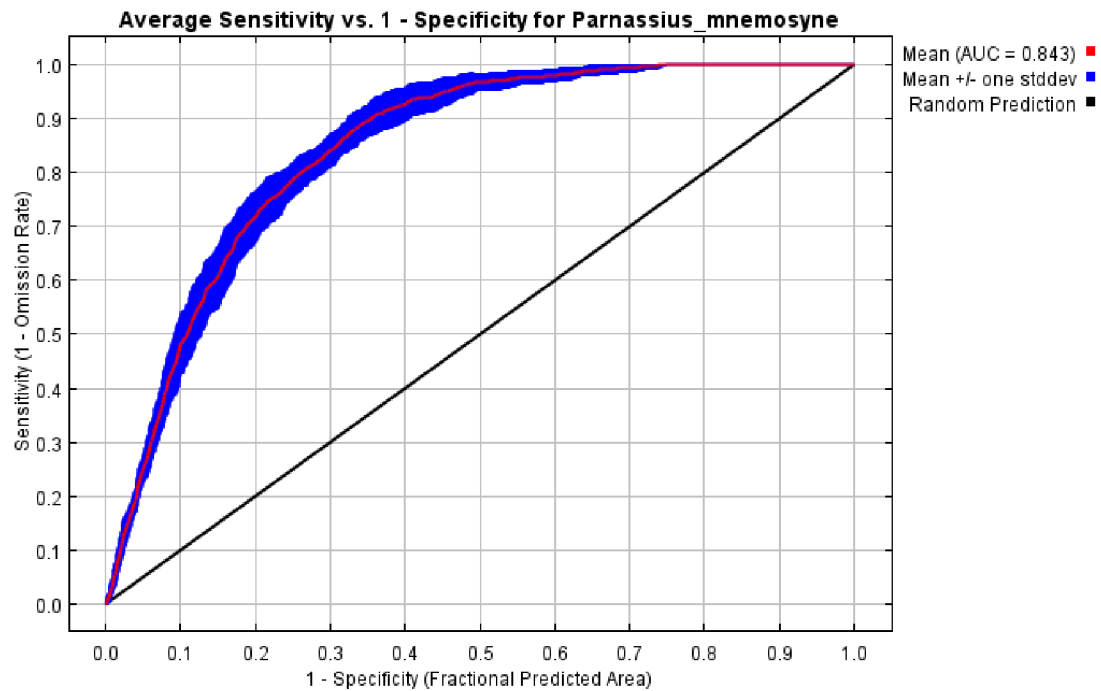
Většina nálezů pochází z mezofilních ovsíkových luk (T1.1). Kromě luk byl jasoně evidován i v lesních biotopech (hercynské dubohabřiny – L3.1; květnaté bučiny – L5.1; jasanovo-olšové luhy – L2.2) s průměrným 56% korunovým zápojem. Průměrná nadmořská výška registrovaných lokalit byla 411 m n.m. s průměrnou sklonitostí terénu 26°. Zatímco během vývojové fáze housenky/kukly (březen – duben) se průměrná teplota pohybuje okolo 5°C, v období letu imaga (květen – červen) je o 10°C vyšší (vlastní analýza v ArcMap).

Zkonstruovaný habitatový model (Obr. 1) se s výše jmenovanými oblastmi výskytu z velké části shoduje, což dokládá vynesení záznamů o výskytu jasoně z předmětného období (2010 – 2023), tak z celého období mapování druhu (od r. 1900) (cf. Obr. 2; Příloha 5). Habitatový model ovšem predikuje potenciálně vhodná místa výskytu také v některých dalších územích. Vysoký potenciál model klade oblasti Orlických hor, Zlatohorské vrchoviny, Dražanské vrchoviny, soutoku Moravy a Dyje a především východní hranici státu, tj. pohoří Slezských a Moravskoslezských Beskyd a navazující Hostýnsko-vsetínské vrchy (Příloha 6 a 7).

Přesnost konstruovaného habitatového modelu distribuce jasoně dymnivkového na zájmovém území charakterizuje hodnota AUC (*Area under curve*) = 0,843 (SD = 0,015). Hodnota AUC v intervalu 0,9 – 0,8 reprezentuje velmi dobrou přesnost modelu s vysokou schopností rozlišovat mezi prezencí a absencí modelovaného druhu. Hodnota AUC je výstupem křivky specifity a senzitivity (ROC – *Receiver operating characteristic curve*) (Obr. 2).

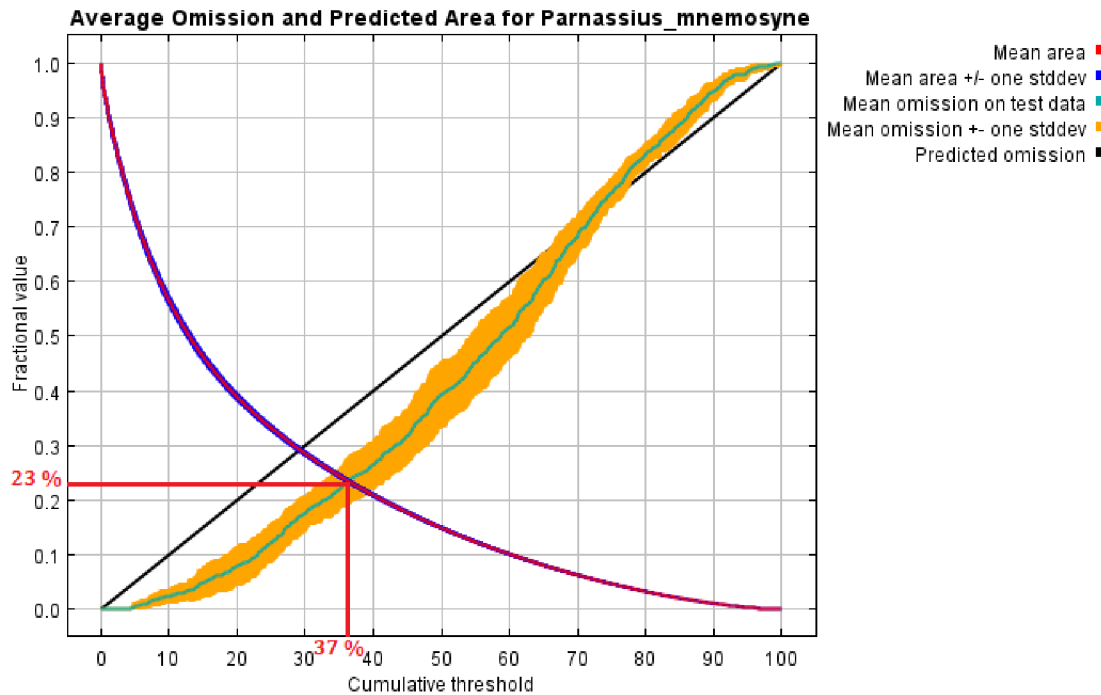


**Obr. 1:** Výsledný habitatový model znázorňující potenciální distribuci vhodných oblastí výskytu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) ve východní části České republiky. Výstup z MaxEnt, upraveno v ArcMap (modelováno na rozlišení 25 x 25 m).



**Obr. 2:** Křivka senzitivity a specifity (*Receiver operating characteristic curve*) habitatového modelu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*), uvádí hodnotu AUC = 0,843 (*Area under curve*), což značí středně vysokou přesnost modelu. Modrá plocha značí směrodatnou odchylku deseti testů křížové validace (*cross-validation*) a červená křivka jejich průměr.

Výsledný model z MaxEntu lze pro lepší interpretaci zjednodušit za pomoci prahové hodnoty, tzv. kumulativního prahu (*cumulative threshold*). Prahová hodnota se nejčastěji odečítá z grafu, a to z průsečíku křivek, které znázorňují průběh velikost predikovaného území a procenta chybného určení výskytu druhu (tzv. *ommission rate*) v závislosti na měnícím se kumulativním prahu (viz Obr. 3). V případě konstruovaného habitatového modelu jasoně dymnivkového je prahová hodnota na ose  $x$  rovna 37 %. Znamená to, že každý pixel na mapě, jehož pravděpodobnost výskytu druhu je vyšší nebo rovna 37 %, je ze statistického hlediska možné považovat za oblast vhodnou pro výskyt daného druhu (Příloha 5). Na ose  $y$  lze v místě průsečíku zmíněných křivek odečíst podíl nálezových dat, které odpovídají oblasti určené prahovou hodnotou. Celkem 77 % ( $100 \% - 23 \% = 77 \%$ ) nálezových dat leží v území, které model určil jako vhodné pro výskyt jasoně dymnivkového ve vymezeném zájmovém území (Obr. 3). Statistickou významnost potvrdil binomický test s  $p < 0,001$ .



**Obr. 3:** Určení prahové hodnoty na ose  $x$  na základě křivky „omission rate“ (zelená) v průsečíku s křivkou předpovídaného území (červená). Osa  $y$  vynáší kolik procent všech nálezových dat jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) se nenachází v dané prahové hodnotě habitatového modelu.

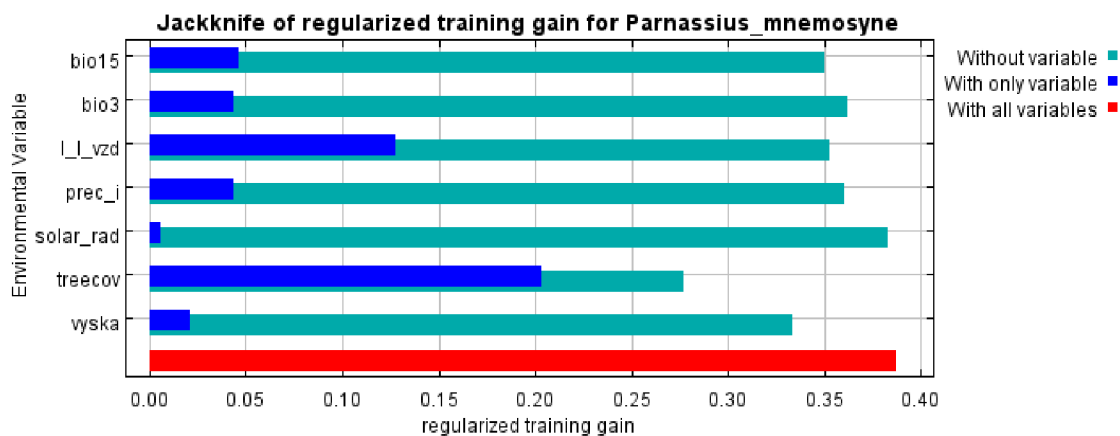
### Významnost proměnných v habitatovém modelu

Odhad relativních příspěvků jednotlivých proměnných pro výsledný model uvádí Tab. 4. Při výpočtu procentuálně vysvětlené variability (*percent contribution*) se zhodnocuje, do jaké míry se model zpřesní, když se přidá konkrétní vrstva. Naopak permutační významnost (*permutation importance*) hodnotí změnu modelu v případě, že se hodnoty jedné vrstvy nahradí hodnotami náhodnými. Největší význam pro variabilitu modelu (celkem 71 %) mají parametry reprezentující biotopové charakteristiky (zapojení korunového patra a vybrané biotopy jasoně). Tyto parametry byly pro výpočet distribuce jasoně ve studovaném území zásadní. Naopak další parametry měly z hlediska vysvětlené variability význam spíše menší. Neznamená to ale, že jejich celkové přispění do modelu bylo bezvýznamné, viz srovnání s permutační významností.

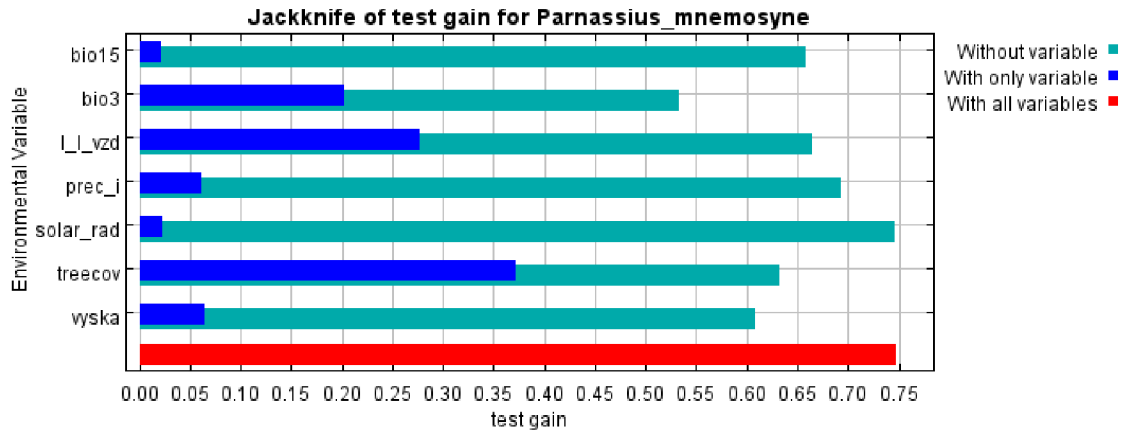
**Tab. 4:** Relativní a absolutní významnost proměnných pro výsledný habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) rozšíření jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) ve východní části České republiky.

Proměnné	Vysvětlená variabilita (%)	Permutační významnost (%)
Zapojení korunového patra	52,3	34,7
Biotopy jasoně	18,9	5,1
Nadmořská výška	11,1	21,5
BIO15	9,3	4,3
Průměr srážek - imago	5	12
BIO3	2,8	21,4
Solární radiace	0,6	1,1

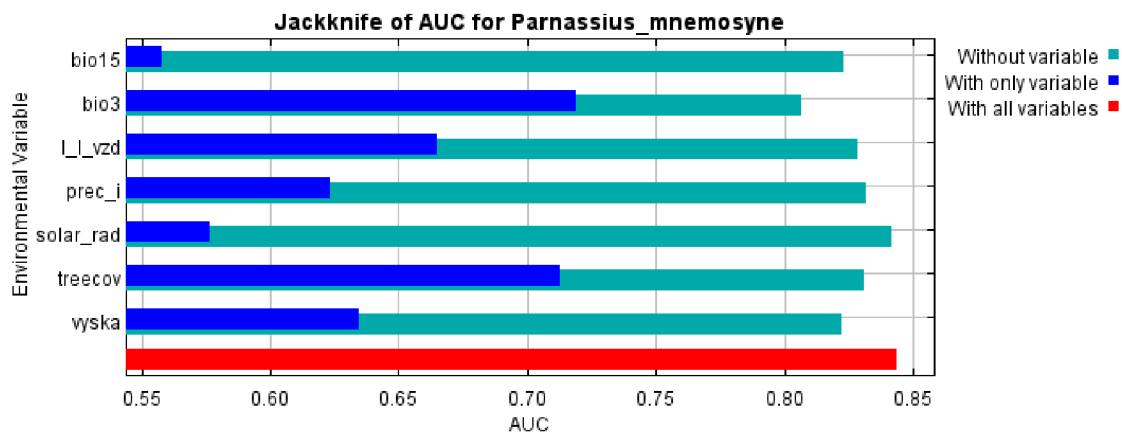
Z výsledného grafu trénovací množiny dat (Obr. 4) metodou Jackknife vyplývá vysoká významnost vrstvy zapojení korunového patra (treecov) a biotopů jasoně (l\_1\_vzd). Významnost těchto dvou proměnných je shodná s relativní důležitostí vrstev z tabulky (Tab. 4). Výsledky na základě testovací množiny dat (Obr. 5) jsou co do významnosti biotopových charakteristik shodné. Současně přičítají významný podíl také izotermii (BIO3), která v posledním grafu (Obr. 6) obě charakteristiky převýšila. Zbylé proměnné prokázaly nepatrný význam ve všech případech, přičemž je zřejmá stabilně nejmenší významnost solární radiace.



**Obr. 4:** Významnost proměnných pro habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na základě trénovací množiny dat. Zelená znázorňuje kvalitu modelu bez dané proměnné, modrá znázorňuje kvalitu za použití pouze dané proměnné.

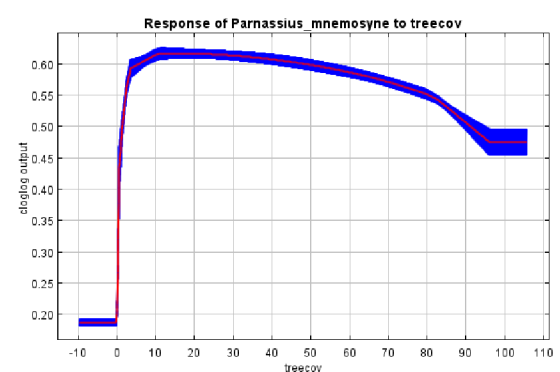
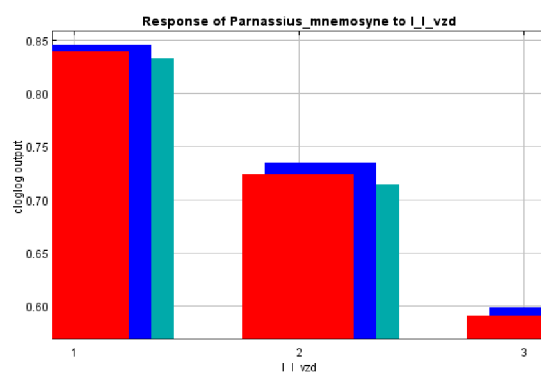


**Obr. 5:** Významnost proměnných pro habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na základě testovací množiny dat. Zelená znázorňuje kvalitu modelu bez dané proměnné, modrá znázorňuje kvalitu za použití pouze dané proměnné.

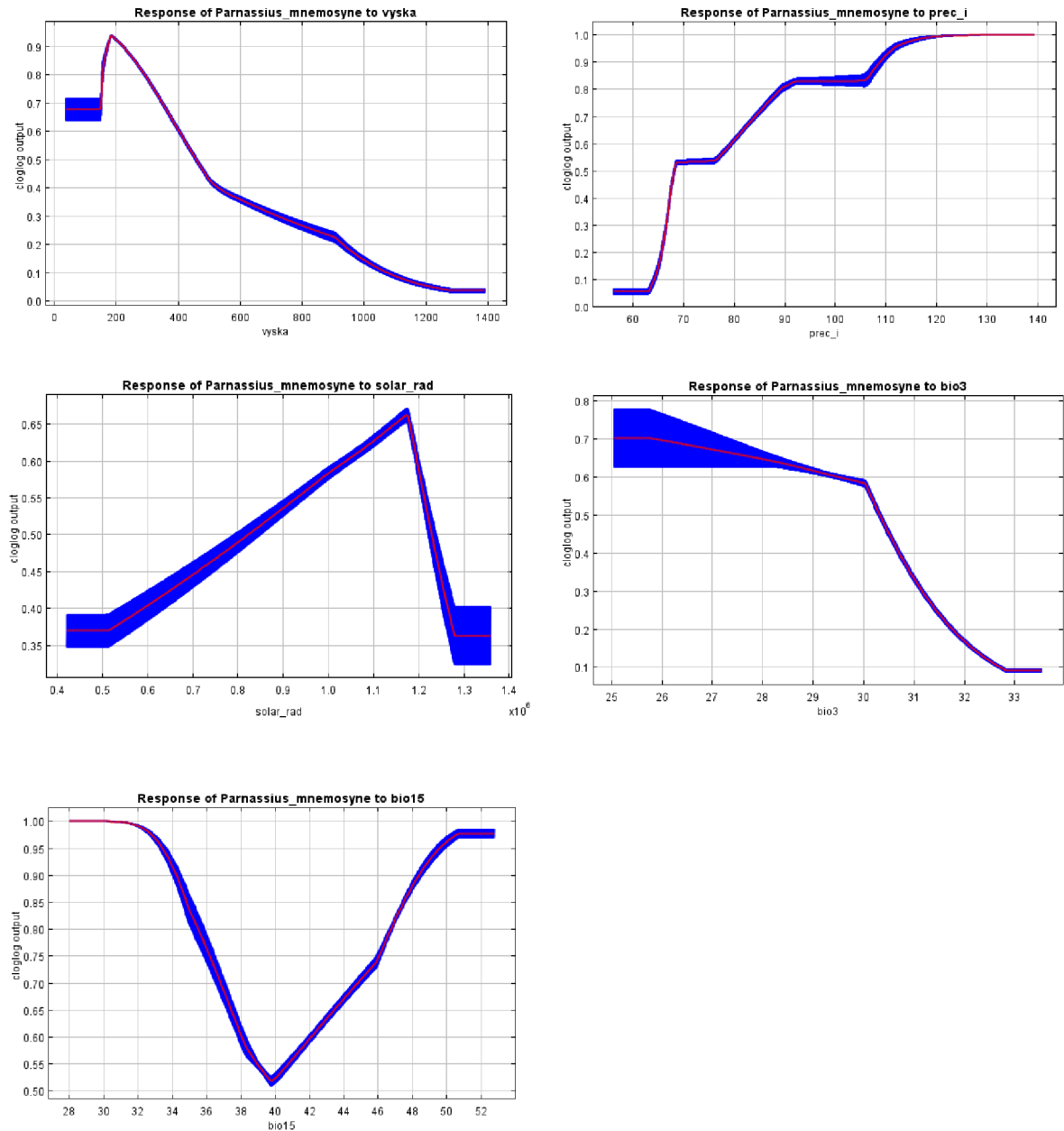


**Obr. 6:** Významnost proměnných pro habitatový model jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na základě AUC hodnoty. Zelená znázorňuje kvalitu modelu bez dané proměnné, modrá znázorňuje kvalitu za použití pouze dané proměnné.

Reakční křivky (Obr. 7) mají vesměs unimodální charakter. Aplikací prahové hodnoty popisují nejvhodnější biotop, kterým je v tomto případě ne zcela zapojený les v nadmořských výškách do 600 m n.m., kde dopadne dostatek slunečního záření. V období letu imaga je žádoucí vyšší úhrn srážek. Nižší hodnoty izotermie jsou v modelu pozitivně korelované s přítomností vhodného habitatu.







**Obr. 7:** Reakční křivky habitatového modelu jasoně dymnivkového pro všech šest kontinuálních proměnných (treecov = zapojení korunového patra; vyska = nadmořská výška; prec\_i = průměrné srážky v období letu imaga; solar\_rad = solární radiace; bio3 = izotermie; bio15 = sezonalita srážek) a sloupcový graf kategorické proměnné (1\_1\_vzd = kat. 1. – biotopy imaga; kat. 2. – biotopy r. *Corydalis.*; kat. 3. – zbylá část zájmového území). Modrá barva značí směrodatnou odchylku a červená křivka průměr hodnot.

## Diskuse

### Možné limity habitatového modelu jasoně dymnivkového

Distribuci jasoně dymnivkového ve východní části České republiky a faktory, které tuto distribuci determinují, jsem studovala prostřednictvím habitatového modelu. Pro jeho zhotovení jsem vycházela z faunistických dat a mapových vrstev, které definují podmínky prostředí. Hlavními prediktory distribuce jasoně jsou dle předpokladu charakteristiky jako je korunový zápoj a přítomnost biotopů, na které je studovaný druh vázaný. Menší váhu mají v distribučním modelu bioklimatické proměnné a nadmořská výška.

Přestože je disperzní habitatový model možno klasifikovat jako „velmi dobrý s vysokou mírou přesnosti“, vstupní data mají několik nedostatků. Neaktuálnost lze vytknout bioklimatickým proměnným z WorldClim (průměry z let 1970 – 2000). Taktéž korunový zápoj, pro model nejvýznamnější proměnná, byl snímán v roce 2010, tedy aktuální míra (ne)zalesnění bude jistě odlišná. Druhá nejvýznamnější mapová vrstva vybraných biotopů jasoně (která supluje vrstvu floristických nálezů živných rostlin *Corydalis* sp., jejichž záznamy jsou v dtb. NDOP nedostačující) je sice aktuální, vymapované ale není celé zájmové území.

Ke zkreslení výběru oblastí s vhodným habitatem mohly přispět i vlastní faunistické nálezy jasoně. Ačkoliv je přesně definovaná výchozí plocha pixelu (tj. 25,55 x 25,55 m), jasoně, jakožto mobilní druh, ve skutečnosti nemá striktní vazbu k takto malé konkrétní plošce definované pixelem. Jednotlivé záznamy mohou pocházet i z ploch, na které jedinci náhodně zalétají (např. nálezy ze zemědělských pozemků, intravilánu obcí aj.). Tato skutečnost z části vysvětluje údaj o 23 % recentních nálezů ležících mimo území, které je modelem predikované jako vhodné (Obr. 3). Podobně jako ne všechna recentní, tak ani historická data nevysvětluje model s absolutní přesností. Některým starším záznamům z 20. stol. byla ve zdrojové dtb. NDOP přesná GPS lokace přiřazena *ex post*, a to pouze jako orientační (Příloha 5). Naproti tomu model predikuje vysokou míru pravděpodobnosti výskytu jasoně i v oblastech, ze kterých výskyt druhu ve zdrojové dtb. NDOP není uveden. V literatuře je přítomnost jasoně v takových oblastech doložena např. z Beskyd (Kuras et al. 2000; Beneš et al. 2002) nebo Orlických hor (Rotter a Kačírek 1984). I přes výše uvedené limity vstupních dat, lze SDM model považovat za vhodný pro predikci jasoně.

## Prediktory habitatového modelu

V souladu se známými ekologickými nároky jasoně dymnivkového na stanoviště, které obývá (Heikkinen et al. 2007; Gorbach a Kabanen 2010), model jako nejvýznamnějším prediktor vyhodnocuje míru korunového zápoje. Reakční křivka potvrzuje preferenci středně zapojeného korunového patra a spolu s pozitivně korelující solární radiací splňují charakteristiky světlého lesa, který determinuje výskyt druhu (Kudrna a Seufert 1991). Vrstva vybraných biotopů jasoně potvrdila významnost listnatých lesů coby míst vhodných pro vývoj preimaginálních stádií (Schwarz 1948; Beneš et al. 2002) a zároveň významnost blízké přítomnosti otevřených ploch (luk, pasek), kde se sytí a sluní motýli a samci vyhledávají samice k páření (Luoto et al. 2001; Välimäki a Itämies 2003).

Nejoptimálnější nadmořská výška je okolo 200 m n.m., s rostoucí hodnotou dle modelu výrazně klesá vhodnost habitatu. Výskyt jasoně je ale znám i z vyšších nadmořských výšek (Meglécz et al. 1999; Viidalepp 2000; Aagaard et al. 2009) a potvrzují to i faunistické nálezy. Zhruba 250 z nich (z celkem 1 147) se v území nachází nad 600 m n.m., přičemž z reakční křivky vyplývá, že je tato nadmořská výška suboptimální. Jasoně dymnivkový je druhem primárně nížin, kde ale dochází k úbytku vhodných biotopů (světlych listnatých lesů s podrostem živných rostlin housenek) ve prospěch zemědělských pozemků nebo sídel (cf. Jongepierová et al. 2012). Z toho důvodu ustupuje do vyšších nadmořských výšek za předpokladu přítomnosti vhodného biotopu (např. do suťových lesů s přítomností *Corydalis* sp.). Tezi o preferenci nížinných biotopů potvrzují i reakční křivky bioklimatických proměnných (BIO3 – míra rozkolísání teplot vůči roční rozkolísanosti; BIO15 – míra rozkolísanosti měsíčních srážek k hodnotám dlouhodobého průměru). Největší rozkolísanosti obou proměnných jsou pozorovány v nížinách (Tolasz et al. 2007) a model predikuje výskyt jasoně právě v místech s vysokou rozkolísaností teplot a srážek.

Oblasti predikce vhodného území, ať už jsou shodné s faunistickými nálezy či nikoli, spojuje také svažitost území (vlastní analýza v ArcMap). Nejčastěji se jedná o úpatí hor (např. Nízký Jeseník) nebo menších kopců, kde jasoně nachází útočiště v ekotonu mezi zalesněným svahem a travnatým údolím (cf. Konvička et al. 2006b). Svažitost napomáhá disturbančním procesům, které mohou vyústit v prosvětlenější les a vytváří tak vhodné stanovištní podmínky pro *Corydalis* sp. V období letu imaga (květen, červen) jsou vhodnější lokality s vyšším úhrnem srážek (v rámci průměrného rozpětí 65 – 140 mm/období). Humidní podmínky pravděpodobně podporují dostatek

nektarodárných biotopů (Botta-Dukát et al. 2005). Dílčí výsledky nicméně naznačují, že celkový vliv klimatických proměnných na prezenci jasoně bude jen malý (zejména u BIO3 – izotermie, BIO15 – sezonalita srážek a solární radiace). Stáří dat může mít do jisté míry horší vypovídající hodnotu, ale tyto proměnné budou mít význam především v dlouhodobých predikcích (Konvička et al. 2021).

Model predikuje přítomnost vhodných habitatů i pro oblasti, kde jasoně recentně není (např. Orlické hory, Beskydy, údolí Moravice, Chříby nebo Hostýnské vrchy), ale ještě v první polovině 20. století se zde pravděpodobně vyskytoval (Rotter a Kačárek 1984; Kuras et al. 2000; Beneš et al. 2002). Dnes se na mnoha vhodně vyhodnocených lokalitách mohou nacházet produkční lesy s pasekami (které jsem zahrnula do výběru biotopů), ty ale mohou být rychle zalesněny, často jehličnany (Jankovská 1995), což model nedokáže zohlednit. Zejména oblast Orlických hor a Beskyd model vyhodnotil jako rozsáhle a kontinuálně vhodné, ale nejenom v těchto případech je nutné vedle předloženého modelu vycházet také z aktuálních stanovištních podmínek dané lokality.

Odlíšná situace je na východu Čech, kde územně převažují dva vybrané kraje zájmového území. Jasoně dymnivkový se zde historicky ani recentně nevyskytoval (Schwarz 1948). Zalesněná území nejsou kontinuální a vhodné biotopy jsou zde v minoritním poměru vůči jiným. Výsledkem jsou malé a izolované oblasti, které na lokální škále pravděpodobně lze považovat za vhodné, pro metapopulační druh s malou disperzní vzdáleností však nikoli.

### Habitatový model jakožto nástroj k ochraně druhu

Veškeré mapové podklady, které poskytují konkrétní informace, dost možná zcela nevysvětlují komplexní a specifické nároky jasoně dymnivkového na prostředí. Při praktické ochraně druhu je nezbytné mířit managementová opatření do listnatých lesů s hojným výskytem *Corydalis* sp., u kterých bude současně dostatečná potravní nabídka pro imaga jasoně (Luoto et al. 2001; Pywell et al. 2004). Jednotlivé populace motýla vyhledávají plochy v ne příliš pokročilém stádiu sukcese, které jsou zároveň v doletové vzdálenosti druhu (Välimäki a Itämies 2003, Bergström 2005). Zejména v údolích, kde se díky velké heterogenitě prostředí mohou potkávat vhodné parametry stanoviště jen na malých plochách, je nutné také zohlednit velikost dílčích lokalit a jejich vzájemnou konektivitu. Pokud mezi lokálními populacemi není možná migrace jedinců v důsledku např. biogeografických bariér, jsou náchylné k degradaci genetické informace a hůře

odolávají environmentálním stochastickým jevům (Napolitano a Descimon 1994; Meglécz et al. 1998). Model tyto podmínky z podstaty věci nemůže zahrnout a posoudit. Přinejmenším ale poukazuje na oblasti s vysokým potenciálem výskytu vhodných biotopů, které splňují habitatové nároky jasoně dymnivkového. Zde je třeba zaměřit případnou ochrannářskou praxi při rozšiřování příznivých podmínek pro jasoně (Příloha 6 a 7).

Habitatový model prokázal vysokou schopnost predikce vhodných lokalit pro studovaného jasoně dymnivkového ať už formou identifikace současného nebo historického rozšíření druhu. Výsledky potvrzují důležitost nezapojeného korunového patra a osluněných vhodných biotopů, které determinují výskyt druhu. Jasoně dymnivkový je deštníkovým druhem dříve běžných nížinných světlých lesů. Zhotovený model nejen že má potenciál identifikovat vlastní místa výskytu jasoně, ale i oblasti vhodné pro ochranu celých ohrožených společenstev nížinných lesů. Habitatový model nabízí efektivnější a cílenější identifikaci oblastí pro směřování praktické druhové ochrany.

## Závěr

Zhotovený habitatový model poukazuje na místa historického, recentního nebo potenciálního výskytu jasoně dymnivkového. Je tedy legitimní se ptát, pokud se na místech s vysokou mírou predikce jasoně skutečně nevyskytuje, proč se zde nevyskytuje. Za další, které lokality v okolí současného výskytu motýla se jeví jako potenciálně vhodné pro soustředění ochranné péče o druh. Kudy rozšířit stávající obsazené lokality a podpořit tak metapopulační přežívání druhu v oblasti. Dílčí výsledky odhalily významné parametry prostředí, které by měly být zohledněny při návrhu praktických managementových opatření. Model statisticky prokázal vysokou predikční schopnost, je v souladu s faunistickými nálezy a lze ho považovat za vhodný nástroj pro plánování v ochraně.

## Seznam použité literatury

Aagaard, S.M.D., Ødegaard, F., Hanssen, O., Aagaard, K. (2009). Utkast til handlingsplan for Mnemosyne sommerfugl (*Parnassius mnemosyne*). Direktoratet for naturforvaltning, Oslo. 42 pp.

Anthony, D.W., (2007). *The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*. Princeton University Press, Princeton. 568 pp.

Beneš, J., Konvička, M., Dvořák, J., Fric, Z., Havelda, Z., Pavlíčko, A., Vrabec, V., Weidenhoffer, Z. (2002). *Motýli České republiky: Rozšíření a ochrana I., II*. Praha: SOM. 857 pp.

Bergström, A. (2005). Oviposition site preferences of the threatened butterfly *Parnassius Mnemosyne* – implications for conservation. *Journal of Insect Conservation* 9, 21–27.

Botta-Dukát, Z., Chytrý, M., Hájková, P., Havlová, M. (2005). Vegetation of lowland wet meadows along a climatic continentality gradient in Central Europe. *Preslia* 77, 89–111.

Buček, A. (2009). Starobylé lesy v krajině a jejich geobiocenologický výzkum. MZLU v Brně, *Geobiocenologické spisy* 13, 10–16.

Buckley, G. P. (2020). Coppice restoration and conservation: a European perspective, *Journal of Forest Research* 25, 125–133.

Chytrý, M., Kučera, T., Kočí, M., Grulich, V., Lustyk, P. (2010). *Katalog biotopů České republiky*. Ed. 2. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. 447 pp.

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.

Cini, A., Barbero, F., Bonelli, S., Bruschini, C., Casacci, L.P., Piazzini, S., Scalercio, S., Dapporto, L. (2020). The decline of the charismatic *Parnassius mnemosyne* (L.) (Lepidoptera: Papilionidae) in a Central Italy national park: a call for urgent actions. *Journal of Insect Biodiversity* 16, 47–54.

Franklin, J. (2009). *Mapping Species Distribution: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press. 340 pp.

Gorbach, V.V., Kabanen, D.N. (2010). Spatial organization of the Clouded Apollo population (*Parnassius mnemosyne*) in Onega Lake Basin. *Entomological Review* 90, 11–22.

Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342, 850–853.

Hanski, I., Thomas, Ch. (1993). Metapopulation dynamics and conservation: A Spatially explicit model applied to butterflies. *Biological Conservation* 68, 167–180.

Heikkinen, R.K., Luoto, M., Kuussaari, M., Toivonen, T. (2007). Modelling the spatial distribution of a threatened butterfly: Impacts of scale and statistical technique. *Landscape and Urban Planning* 79, 347–357.

Hejda, R., Farkač, J., Chobot, K. [eds.] (2017). Červený seznam ohrožených druhů České republiky. *Bezobratlí. Příroda* 36, 1–612.

Hofmann, A., Rennwald, E., Sobczyk, T. (2011). Rote Liste und Gesamtliste der Spinnerartigen Falter (Lepidoptera: Bombyces, Sphinges s.l.) Deutschlands. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70, 243–283.

Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A., Liukko, U.M. (2019). The 2019 Red List of Finnish Species. *Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus*. Helsinki. 704 pp.

Jacinto-Padilla, J., Lopez-Collado, J., Lopez-Collado, C.J., Garcia-Garcia, C.G. (2017). Species distribution modeling for wildlife management: Ornamental butterflies in México. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 20, 627–636.

Jankovská, V. (1995). Forest composition changes in the Moravskoslezské Beskydy Mountains during the last millennium — A palaeoecological study. *Folia Geobot* 30, 375–387.

Jongepierová, I., Peout, P., Jongepier, J.W., Prach, K. (eds.) (2012). *Ekologická obnova v České republice. – Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky*, Praha. 148 pp.

Konvička, M., Beneš, J., Číp, D., Sobík, D., Spitzer, L., Fric, Z.F., Rindos, M., Vrba, P. (2021). Ohrožení motýli nížinných lesů v čase globální změny (*Coenonympha hero*, *Euphydryas maturna*, *Lopinga achine*, *Parnassius mnemosyne*, *Zerynthia polyxena*). *Nmet - certifikovaná metodika*. 192 pp.



- Konvička, M., Čížek L., Beneš J. (2006a). Ohrožený hmyz nížinných lesů: ochrana a management. Sagittaria, Olomouc. 80 pp.
- Konvička, M., Kuras, T. (1999). Population structure and the selection of oviposition sites of the endangered butterfly *Parnassius mnemosyne* (Lepidoptera: Papilionidae) in the Litovelské Pomoraví, Czech Republic. *Journal of Insect Conservation* 3, 211–223.
- Konvička, M., Vlašánek, P., Hauk, D. (2006b). Absence of forest mantles creates ecological trap for *Parnassius mnemosyne* (Papilionidae). *Nota Lepidopterologica* 29, 145–152.
- Kudrna, O. (1986). Butterflies of Europe. Aspects of the Conservation of Butterflies in Europe. AULA Verlag, Wiebelsheim, 8. 323 pp.
- Kudrna, O., Seufert, W. (1991). Ökologie und Schutz von *Parnassius mnemosyne* (Linnaeus, 1758) in der Rhön. *Oedippus* 2, 1–44.
- Kuras, T., Beneš, J., Čelechovský, A., Vrabec, V., Konvička, M. (2000). *Parnassius mnemosyne* (Lepidoptera: Papilionidae) in North Moravia: review of present and past distribution, proposal for conservation. *Klapalekiana* 36, 93–112.
- Kuussaari, M., Heikkinen, R. K., Heliola, J., Luoto, M., Mayer, M., Rytteri, S., Bagh, P. (2015). Successful translocation of the threatened Clouded Apollo butterfly (*Parnassius mnemosyne*) and metapopulation establishment in southern Finland. *Biological Conservation* 190, 51–59.
- Luoto, M., Kuussaari, M., Rita, H., Salminen, J., von Bonsdorff, T. (2001). Determinants of distribution and abundance in the Clouded Apollo butterfly: a landscape ecological approach. *Ecography* 24, 601–617.
- Megléc, E., N`eve, G., Pecsénye, K., Varga, Z. (1999). Genetic variations in space and time in *Parnassius mnemosyne* (L.) (Lepidoptera) populations in north-east Hungary: implications for conservation. *Biological Conservation* 89, 251–259.
- Megléc, E., Pecsénye, K., Peregovits, L., Varga, Z. (1997). Allozyme variation in *Parnassius mnemosyne* (L.) (Lepidoptera) populations in North-East Hungary: variation within a subspecies group. *Genetica* 101, 59–66.
- Megléc, E., Peczenye, K., Varga, Z., Solignac, M. (1998). Comparison of differentiation pattern at allozyme and microsatellite loci in *Parnassius mnemosyne* populations. *Hereditas* 128, 95–103.
- Meier, K., Kuusemets, V., Luig, J., Mander, Ü. (2005). Riparian buffer zones as elements of ecological networks: Case study on *Parnassius mnemosyne* distribution in Estonia. *Ecological Engineering* 24, 531–537.

- Napolitano, M., Descimon, H. (1994). Genetic structure of French populations of the mountain butterfly *Parnassius mnemosyne* L. (Lepidoptera: Papilionidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 53, 325–341.
- Pearson, R.G. (2010). Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Lessons in conservation* 3, 54–89.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological modeling* 190, 231–259.
- Pywell, R.F., Warman, E.A., Sparks, T.H., Greatorex-Davies, J.N., Walker, K.J., Meek, W.R., Carvell, C., Petit, S., Firbank, L.G. (2004). Assessing habitat quality for butterflies on intensively managed arable farmland. *Biological Conservation* 118, 313–325.
- Rotter, M., Kačirek, A. (1984). *Motýli Orlických hor – I. Práce a Studie – Přír.*, Pardubice 15, 101–116.
- Ruchin, A.B. (2018). Biology and distribution of the Clouded Apollo *Parnassius mnemosyne* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Papilionidae), a rare butterfly in the Republic of Mordovia, Russia. *Journal of Threatened Taxa* 10, 11980–11983.
- Sang, A. (2007). The influence of host plant abundance and landscape connectivity to movement patterns of the clouded apollo (*Parnassius mnemosyne*, Lepidoptera: Papilionidae). Thesis of MSc. University of Tartu, Estonia. 35 pp.
- Schwarz, R. (1948). *Motýli denní 1*. Praha, Vesmír. 48 pp.
- Schweizerischer Bund für Naturschutz (SBN) (Hrsg.), Lepidopterologen-Arbeitsgruppe (1987). *Tagfalter und ihre Lebensräume. Arten - Gefährdung - Schutz*, (Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae, Satyridae, Libytheidae, Lycaenidae). Schweizerischer Bund für Naturschutz, Basel. 516 pp.
- Šebek, P., Bartoš, M., Beneš, J., Chlumská, Z., Doležal, J., Kovář, J., Mikátová, B., Plátek, M., Poláková, S., Škorpík, M., Stejskal, R., Trnka, F., Vlasin, M., Zapletal, M., Čížek, L. (2013). Effect of active conservation management on biodiversity: Multi-taxa survey in oak woodlands of Podyji National Park, Czech Republic. 5th Symposium for Research in Protected Areas, 717–720.
- Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas and keystones: is single-species management passé in the landscape era *Biological Conservation* 83, 247–257.
- Tolasz, R., Míková, T., Valeriánová, A., Voženílek, V. (2007). *Atlas podnebí Česka*. Univerzita Palackého v Olomouci – ČHMU. 255 pp.

- Unrau, A., Becker, G., Spinelli, R., Lazdina, D., Magagnotti, N., Nicolescu, V. N., Buckley, P., Bartlett, D., Kofman, P.D. (Eds.). (2018). Coppice forests in Europe. Freiburg i. Br., Germany, University of Freiburg. 392 pp.
- Vacik, H., Zlatanov, T., Trajkov, P., Dekanić, S. (2009). Role of coppice forests in maintaining forest biodiversity. *Silva Balcanica*, 35–45.
- Väisänen, R., Somerma, P. (1985). The status of *Parnassius Mnemosyne* (Lepidoptera, Papilionidae) in Finland. *Notulae Entomologicae* 65, 109–118.
- Välimäki, P., Itämies, J. (2003). Migration of the clouded Apollo butterfly *Parnassius mnemosyne* in a network of suitable habitats - effects of patch characteristics. *Ecography* 26, 679–691.
- Välimäki, P., Itämies, J. (2005). Effects of canopy coverage on the immature stages of the Clouded Apollo butterfly [*Parnassius mnemosyne* (L.)] with observations on larval behaviour. *Entomologica Fennica* 16, 117–123.
- van Swaay, C.A.M., Cuttelod, A., Collins, S., Maes, D., Munguira, M.L., Šašić, M., Settele, J., Verovnik, J., Verstrael, T., Warren, M., Wiemers, M. & Wynhoff, I. (2010). European Red List of Butterflies. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 47 pp.
- Vera, F.W.M. (2000). *Grazing Ecology and Forest History*. CABI, Wallingford. 528 pp.
- Viidalepp, J. (2000). Clouded Apollo (*Parnassius mnemosyne*) in Estonia. Estonian Academy Publishers, Tallinn-Tartu. 40 pp.
- Vlašánek, P., Bartoňová, A., Marec, F., Konvička, M. (2017). Elusive *Parnassius mnemosyne* (Linnaeus, 1758) larvae: habitat selection, sex determination and sex ratio (Lepidoptera: Papilionidae). *Shilap revista de lepidopterologia*, vol. 45, no. 180, 561–569.
- Vrabec, V. (2021). Hmyz roku 2021 – jasoň dymnivkový. *Živa* 2, 84–86.
- Weiss, J. C. (1999). The Parnassiinae of the world. Part 3. Canterbury: Hillside Books. 137–236.
- Westin, A., Lennartsson, T., Bjorklund, J. (2018). The historical ecology approach in species conservation – Identifying suitable habitat management for the endangered clouded Apollo butterfly (*Parnassius mnemosyne* L.) in Sweden. *AIMS Environmental Science* 5, 244–272.
- Zhang, H.H., Wang, W.L., Yu, Q., Xing, D.H., Xu, Z.B., Duan, K., Zhu, J.Q., Zhang, X., Li, Y.P., Hu, S.J. (2020). Spatial Distribution of pollinating butterflies in Yunnan Province, southwest China with resource conservation implications. *Insects* 11, 1–14.

**Internetové zdroje:**

AOPK ČR. [internet]. Nálezová databáze ochrany přírody. Available from url: <https://portal.nature.cz/nd/>. Accessed on 2023-03-03.

Phillips, S.J. (2017). [internet] A Brief Tutorial on Maxent. Available from url: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2023-3-26.

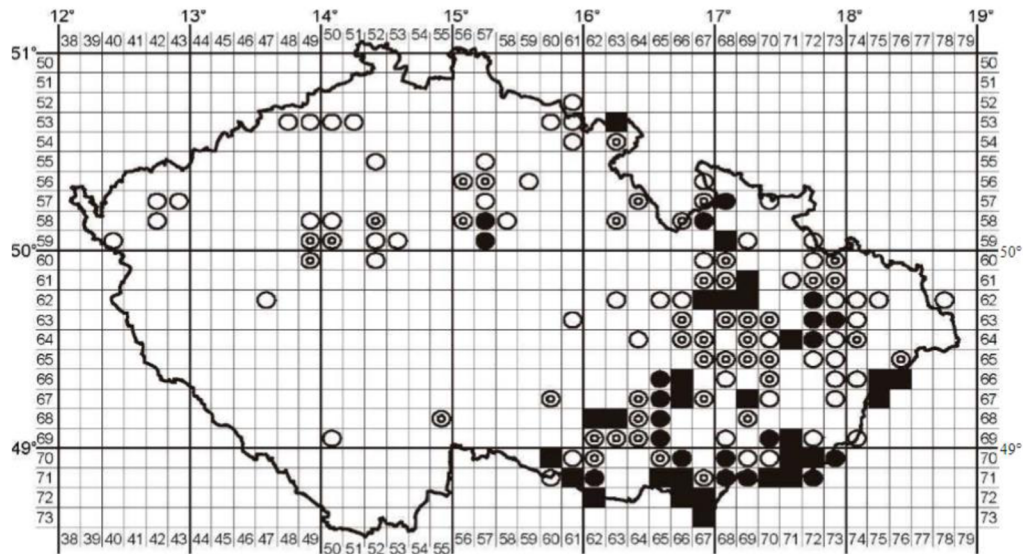
Pladias. [internet]. Databáze české flóry a vegetace. Available from url: [www.pladias.cz](http://www.pladias.cz). Accessed on 2023-2-10.

SLU Artdatabanken (2020). [internet] The Swedish Red List 2020. Available from url: <https://www.gbif.org/dataset/23c0a6c4-f1f4-4577-ac5c-98787c1a2d0c>. Accessed on 2023-03-26.

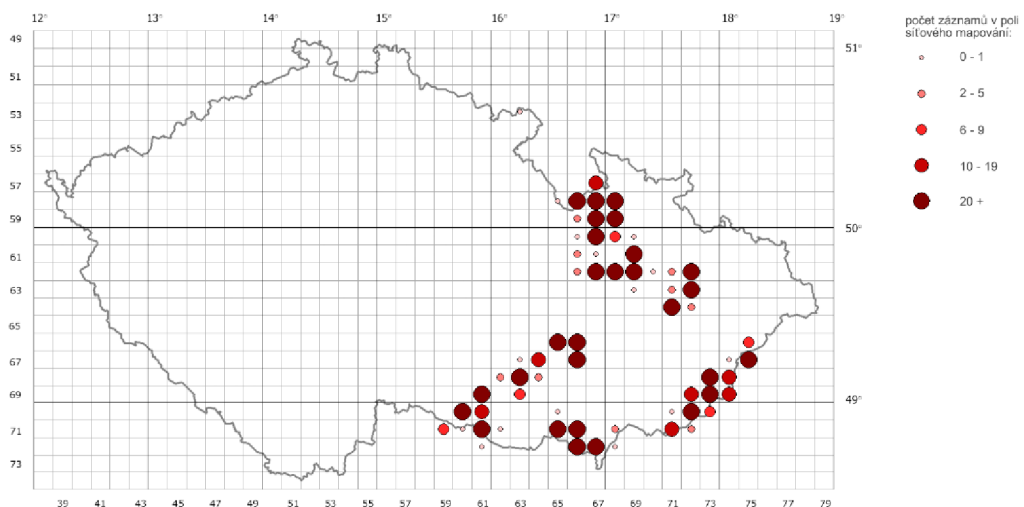
## Přílohy

<b>Příloha 1:</b> Mapa historického a recentního výskytu jasoně dymnivkového na území České republiky. ....	29
<b>Příloha 2:</b> Seznam 29 původně uvažovaných mapových podkladů, které v korelační analýze v programu ArcMap neprošly korelačním koeficientem 0,7 a nebyly zahrnuty do habitatového modelu. ....	30
<b>Příloha 3:</b> Skript výběru parametrů pro MaxEnt a tvorba bias souboru v programu RStudio...	30
<b>Příloha 4:</b> Nastavení sw. MaxEnt dle výsledků ENMevaluate skriptu v programu RStudio (vztahy mezi proměnnými, křížová validace s 10 opakováními, bias soubor). ....	31
<b>Příloha 5:</b> Srovnání recentního a historického rozšíření jasoně dymnivkového ve východní části České republiky na pozadí modelu prahové hodnoty (37 %) jakožto dílčího výsledku z MaxEntu. ....	32
<b>Příloha 6:</b> Ukázka habitatového modelu jasoně dymnivkového ( <i>Parnassius mnemosyne</i> ) v okolí CHKO Moravský kras. Červeno oranžové plochy značí oblasti s vysokou pravděpodobností vhodného prostředí pro zájmový druh, kde by se mohl soustředit vhodný ochranný management. ....	33
<b>Příloha 7:</b> Ukázka habitatového modelu jasoně dymnivkového ( <i>Parnassius mnemosyne</i> ) na jižní Moravě. Červeno oranžové plochy značí oblasti s vysokou pravděpodobností vhodného prostředí pro zájmový druh, kde by se mohl soustředit vhodný ochranný management. ....	34

**Příloha 1:** Mapa historického a recentního výskytu jasoně dymnivkového na území České republiky.



Síťová mapa historického a současného výskytu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) v České republice. Použitá symbolika: prázdný kroužek - výskyt do roku 1950; kroužek s mezikružím - výskyt v období 1951 – 1980; plný kroužek výskyt v období - 1981 – 1994; černý čtverec - výskyt v období 1995 – 2001. (orig. Beneš et al., 2002).



© AOPK ČR 2023, podkladová data © ČÚZK



Síťová mapa recentního výskytu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) v České republice po roce 2010. (orig.: NDOP, AOPK ČR, 2023).

**Příloha 2:** Seznam 29 původně uvažovaných mapových podkladů, které v korelační analýze v programu ArcMap neprošly korelačním koeficientem 0,7 a nebyly zahrnuty do habitatového modelu.

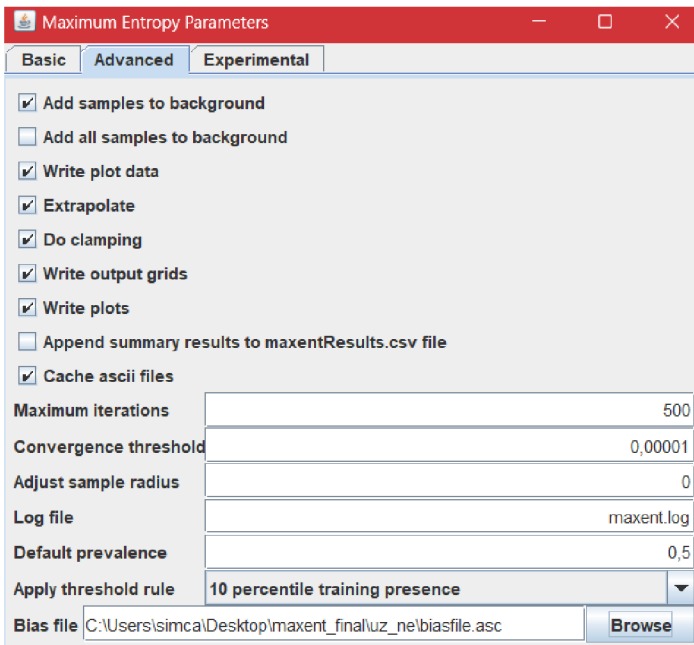
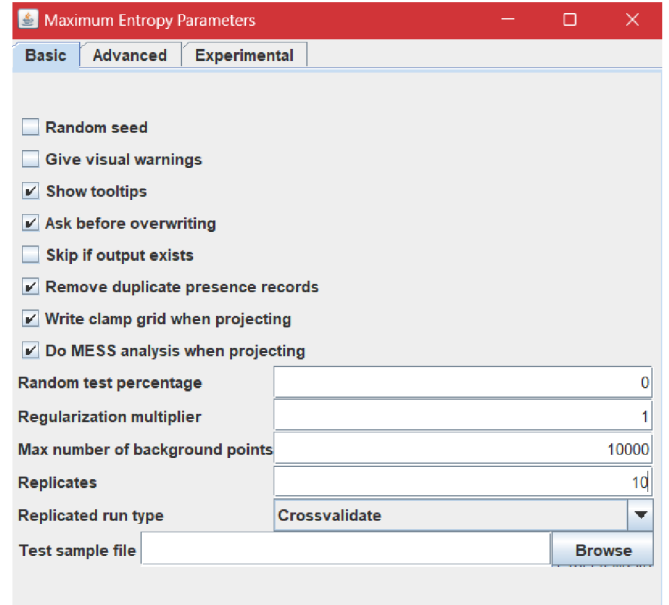
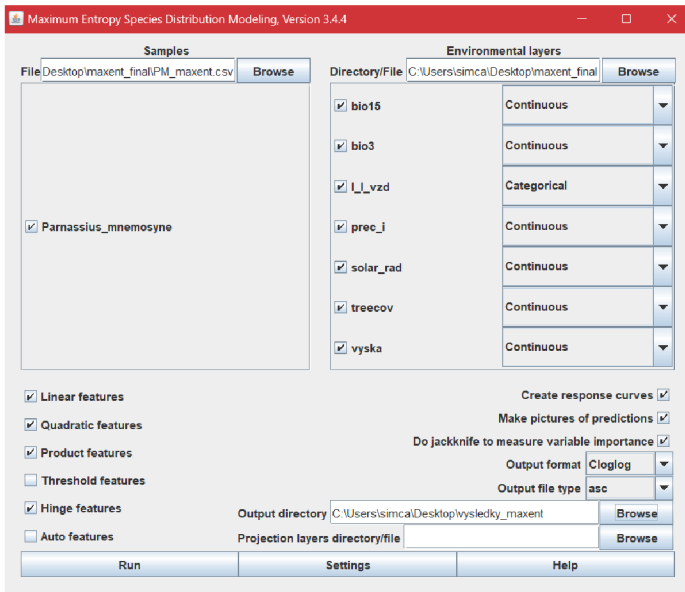
Mapová vrstva	Zdroj
Bioklimatické proměnné (BIO1-BIO19; vyjma BIO3 a BIO15)	© WorldClim <a href="https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html">https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html</a>
Průměrné měsíční srážky dle vývojových fází motýla	
Průměrná měsíční teplota dle vývojových fází motýla	
Průměrná nejvyšší měsíční teplota dle vývojových fází motýla	© WorldClim; odvozeno z dat dostupných na: <a href="https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html">https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html</a>
Průměrná nejnižší měsíční teplota dle vývojových fází motýla	
Svažitost	Odvozeno z vrstvy DMR 5G v ArcMap © 2010 ČÚZK

**Příloha 3:** Skript výběru parametrů pro MaxEnt a tvorba bias souboru v programu RStudio.

```
# Instalace balíčků
install_github("jamiemkass/ENMeval")
install.packages("MASS", dependencies = TRUE)
install.packages("ecospat")
library(ENMeval)
library(raster)
library(MASS)

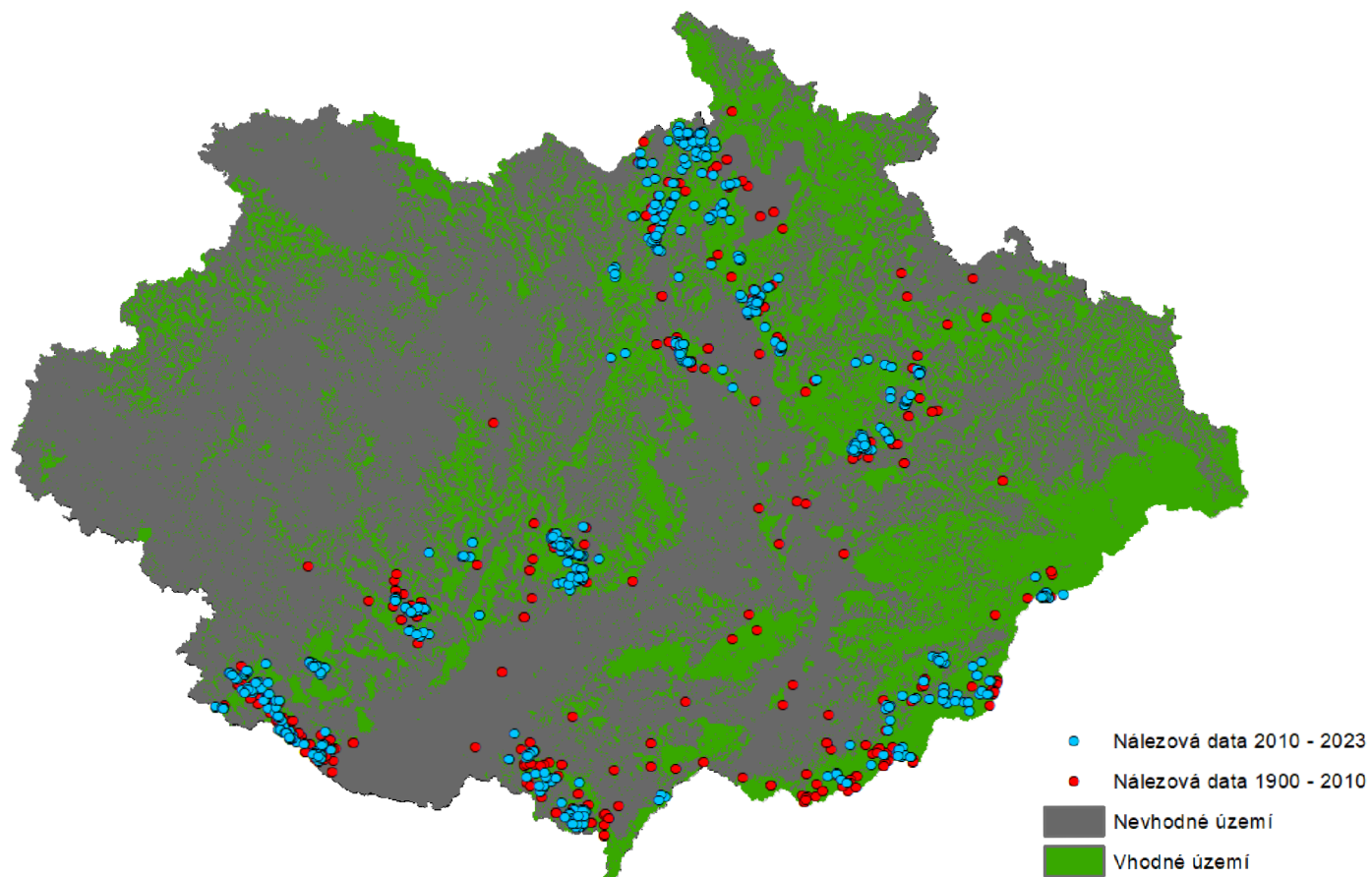
# Proměnné
bio3 <- raster("bio3.asc")
bio15 <- raster("bio15.asc")
l_l_vzd <- raster("l_l_vzd.asc")
prec_i <- raster("prec_i.asc")
treecov <- raster("treecov.asc")
vyska <- raster("vyska.asc")
solar_rad <- raster("solar_rad.asc")
env <- stack(bio3, bio15, l_l_vzd, prec_i, treecov, vyska, solar_rad)
# Nálezová data
occ <- read.csv("PM_maxent.csv")[,-1]
# Bias file
occur.ras <- rasterize(occ, env, 1)
presences <- which(values(occur.ras) == 1)
pres.locs <- coordinates(occur.ras)[presences, ]
dens <- kde2d(pres.locs[,1], pres.locs[,2], n = c(nrow(occur.ras),
ncol(occur.ras)), lims = c(extent(env)[1], extent(env)[2],
extent(env)[3], extent(env)[4]))
dens.ras <- raster(dens, env)
dens.ras2 <- resample(dens.ras, env)
writeRaster(dens.ras2, "biasfile.asc", overwrite = TRUE)
# Background points
bg <- xyFromCell(dens.ras2, sample(which(!is.na(values(subset(env,
1))))), 10000, prob=values(dens.ras2)[!is.na(values(subset(env,
1))]))
colnames(bg) <- colnames(occ)
#Randomkfold:
enmeval_results <- ENMevaluate(occ, env, bg, tune.args = list(fc =
c("L", "LQ", "H", "LQH", "LQHP", "LQHPT"), rm = 1:5), partitions
= "randomkfold", partition.settings = list(kfolds = 10),
algorithm = "maxnet", categoricals = c("l_l_vzd"))
enmeval_results@results
write.csv(enmeval_results@results, "enmeval_results.csv")
```

**Příloha 4:** Nastavení sw. MaxEnt dle výsledků ENMevaluate skriptu v programu RStudio (vztahy mezi proměnnými, křížová validace s 10 opakováními, bias soubor).

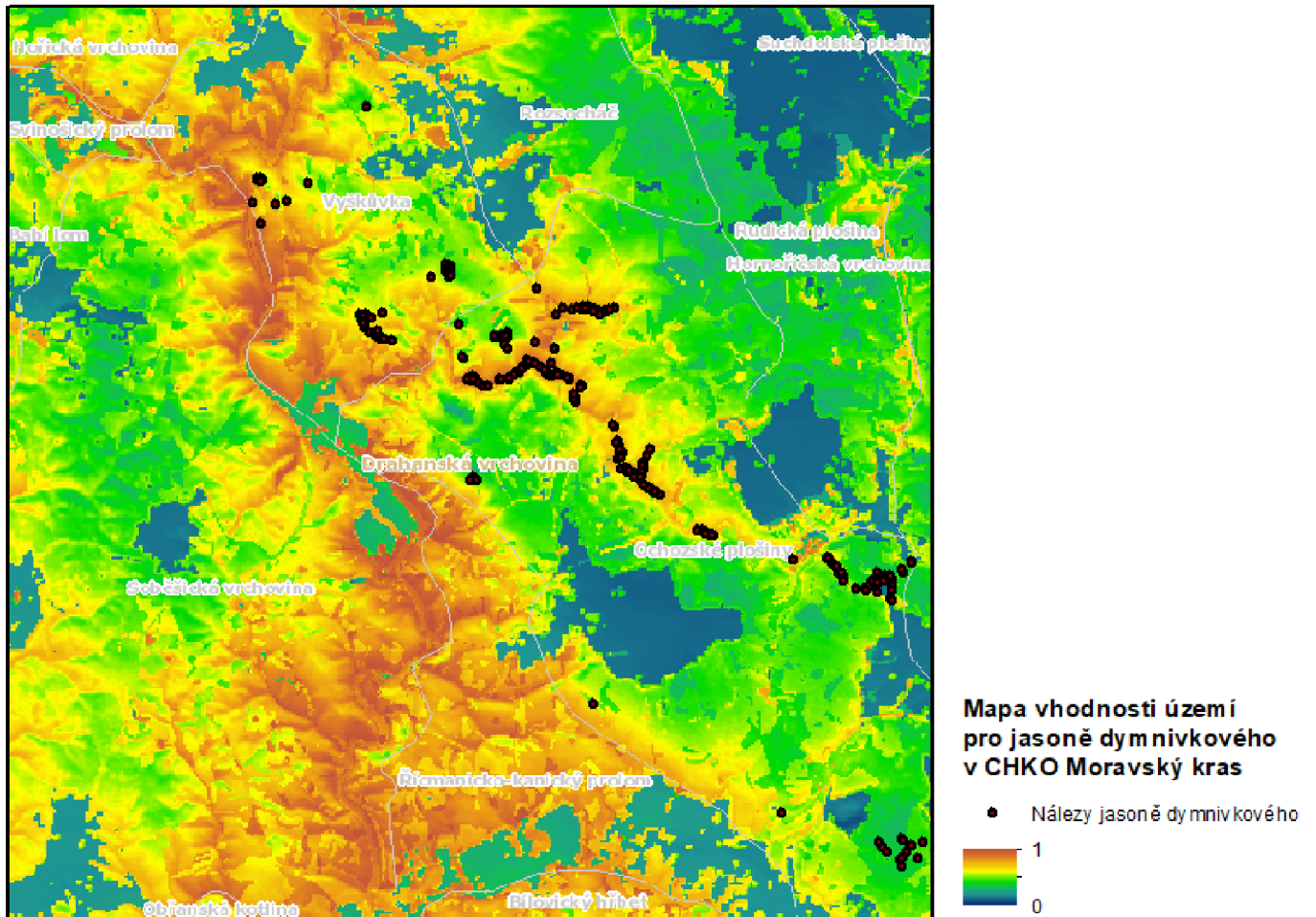




**Příloha 5:** Srovnání recentního a historického rozšíření jasoně dymnivkového ve východní části České republiky na pozadí modelu prahové hodnoty (37 %) jakožto dílčího výsledku z MaxEntu.



**Příloha 6:** Ukázka habitatového modelu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) v okolí CHKO Moravský kras. Červeno oranžové plochy značí oblasti s vysokou pravděpodobností vhodného prostředí pro zájmový druh, kde by se mohl soustředit vhodný ochranný management.



**Příloha 7:** Ukázka habitatového modelu jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne*) na jižní Moravě. Červeno oranžové plochy značí oblasti s vysokou pravděpodobností vhodného prostředí pro zájmový druh, kde by se mohl soustředit vhodný ochranný management.

