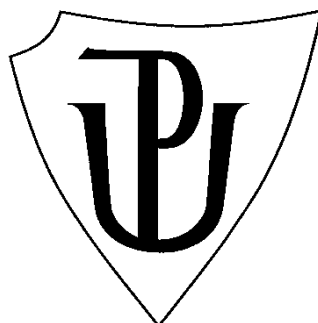


Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Habitatový model křečka polního v České republice

Bc. Daniel Mašín

Diplomová práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
na získání titulu Mgr. v oboru
Ochrana a tvorba krajiny

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

Olomouc 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Tomáše Václavíka, Ph.D. s použitím citované literatury.

Ve Slatiňanech 26. července 2020

Podpis:

Mašín D. 2020. Habitatový model křečka polního v České republice [diplomová práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PřF UP v Olomouci. 52 s. Přílohy 9 s. Česky.

Abstrakt

Principem modelování distribuce studovaného křečka polního (*Cricetus cricetus*) je modelování na základě statistických vztahů mezi prostorově lokalizovanými body studovaného druhu a prostorovými údaji o životním prostředí, kde se vyskytuje. Pomocí údajů o preferovaných lokalitách lze prostřednictvím SDM (species distribution modelling) odhadovat prezenci křečka na místech, kde údaje z průzkumů chybí, formou prediktivní mapy.

Cílem bylo na základě konsolidovaných dat z různých zdrojů a vlastních náleзовých dat z roku 2018 vytvořit habitatové modely pro křečka polního metodou SDM. Použité vstupní vrstvy (půdní typy, klimatické faktory, nadmořská výška, sklonitost svahu, krajinný pokryv a topografický index vlhkosti) byly hodnoceny ve formě t-testů kvůli zjištění preferencí křečka. Následně byl vypočítán habitatový model pomocí logistické regrese. Validovaný model z bakalářské práce (Mašín 2017) nebyl dostatečně přesný a nepředpovídal výskyt v místech, kde byla zaznamenána prezence křečka Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR a Vohralíkem a Melicharem. Validovaný model BP vysvětluje jen o 0,7 % více celkové variability ve srovnání s bakalářskou prací (Mašín 2017). Jako nejlepší habitatový model byl vyhodnocen Model 9, kde se hodnota $AIC = 1769,4$ a $R^2 = 0,3342$, což znamená, že model dokáže vysvětlit 33,42 % celkové variability. V tomto modelu bylo použito 7 faktorů: BIO 4 – teplotní sezónnost, BIO 12 – průměrné roční úhrny srážek, BIO 15 – sezónnost srážek, DEM – nadmořská výška, černozem, gleje a podzoly, sklonitost. Při porovnání s modelem z předchozí bakalářské práce (Mašín 2017) Model 9 vysvětluje o 6,28 % více celkové variability. Data pro Model 9 jsou z větší prostorové oblasti, především je prozkoumaná oblast rozšířena o Labskou nížinu. Ještě větší zpřesnění vypočítaných modelů by mohlo nastat zmapováním dalších predikovaných lokalit výskytu.

Klíčová slova: *Cricetus cricetus*, faktory životního prostředí, GIS, habitatové preference, modelování distribuce druhů, AUC, AIC, R^2

Mašín D. 2020. Habitat model of Common hamster in the Czech Republic. Master's thesis, Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc, 52 pp, Appendix 9 pp, Czech.

Abstract

The principle of modelling the distribution of the studied Common hamster (*Cricetus cricetus*) is modeling on the basis of statistical relationships between spatially localized points of the studied species and spatial data on the environment where it occurs. Using data on preferred localities, it is possible to estimate the presence of the hamster in places where survey data are missing by means of SDM (species distribution modelling), in the predictive map.

The aim was to create habitat models for the hamster using the SDM method on the basis of consolidated data from various sources and my own findings in 2018. The input layers used (soil types, climatic factors, altitude, hillside slope, land cover and topographic moisture index) were evaluated in the form of t-tests, in order to determine the hamster's preferences. Subsequently, the habitat model was calculated using logistic regression. The validated model from the bachelor's thesis (Mašín 2017) was not sufficiently accurate and did not predict the occurrence in places where the presence of a hamster was recorded by the Nature Conservation Agency of the Czech Republic and Vohralík and Melichar. The validated bachelor's model explains only 0.7 % more overall variability compared to the bachelor's thesis (Mašín 2017). Model 9 was evaluated as the best habitat model, where the value of $AIC = 1769.4$ and $R^2 = 0.3342$, which means that the model can explain 33.42 % of the total variability. 7 factors were used in this model: BIO 4 – temperature seasonality, BIO 12 – average annual precipitation totals, BIO 15 – precipitation seasonality, DEM – altitude, chernozem, gley and podzols, slope. Model 9 explains 6.28 % more overall variability compared to the model from the previous bachelor's thesis (Mašín 2017). The data for Model 9 are from a larger spatial area, especially the examined area is extended by the Elbe lowland. Even greater refinement of the calculated models could occur by mapping other predicted localities of occurrence.

Key words: *Cricetus cricetus*, environmental factors, GIS, habitat preferences, species distribution modelling, AUC, AIC, R^2

Obsah

Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	vii
Seznam příloh.....	ix
Seznam zkratk	x
1. Úvod.....	1
1.1 Modelování distribuce druhu	2
1.2 Validace.....	3
1.3 Rozlišení populací křečků v Evropě	4
1.4 Habitatové faktory ovlivňující rozšíření křečka.....	5
1.5 Využití modelů pro predikci křečka.....	7
2. Cíle práce	10
3. Materiály a metody	11
3.1 Vrstvy faktorů životního prostředí vstupujících do modelu	11
3.2 Použitá nálezová data křečků	16
3.3 Analýza dat.....	19
3.3.1 Tvorba habitatového modelu.....	20
3.3.2 Validace habitatového modelu.....	21
4. Výsledky	23
4.1 Zhodnocení působení faktorů životního prostředí	23
4.1.1 Výskyt křečka podle typu půdy.....	25
4.1.2 Výskyt křečka podle nadmořské výšky - výškového pásma.....	26
4.1.3 Výskyt křečka dle sklonitosti svahu.....	27
4.1.4 Krajinový pokryv - CORINE	28
4.2 Porovnání habitatových modelů.....	29
4.3 Validace modelu bakalářské práce	34
5. Diskuse.....	37
5.1 Habitatové preference křečka v číslech.....	37
5.2 Hodnocení výsledných habitatových modelů	39
5.3 Zhodnocení validovaného modelu bakalářské práce	41

6. Shrnutí.....	43
7. Zdroje.....	45
8. Přílohy.....	53

Seznam tabulek

Tab. 1 Soupis vstupních vrstev faktorů životního prostředí	12
Tab. 2 Početní srovnání, množství nálezových dat z datových souborů.....	18
Tab. 3 Srovnání všech modelů podle AUC, AIC, R^2	30
Tab. 4 Predikční vrstvy jednotlivých habitatových modelů. Použité zkratky: Č – černozem, H – hnědozem, G – gleje a podzoly, K – kambizem, o – orná půda v CORINE, p – průmysl v CORINE.....	30
Tab. 5 Výsledky logistické regrese Modelu 9.....	31
Tab. 6 Výsledky logistické regrese Validovaného modelu BP.....	34

Seznam obrázků

Obr. 1 Typy půd – kategorie rozděleny podle vhodnosti pro výskyt křečka. Upraveno, původní zdroj: ČGS 2017	13
Obr. 2 BIO 12 – průměrné roční úhrny srážek (mm). Upraveno, původní zdroj: WorldClim	14
Obr. 3 Digitální model terénu (DEM – Shuttle Radar Topography Mission Digital Topographic Model) – vyobrazuje nadmořskou výšku (m n. m.). Upraveno, původní zdroj: GISAT 2007.....	15
Obr. 4 Sklonitost svahu (%) odvozena z Digitálního modelu terénu (SRTM DEM). Původní zdroj: GISAT 2007	15
Obr. 5 Krajinný pokryv CORINE (Coordination of information on the Environment). Upraveno, původní zdroj: Copernicus Land Monitoring Service. 2016.....	16

Obr. 6 Výskyt křečka polního v ČR, v rozmezí let 2010 až 2019, konsolidovaná data od: 1) prof. Tkadlece, 2) AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), 3) Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016), 4) vlastní nálezová data.....	19
Obr. 7 Souhrnný panelový graf konsolidovaných nálezových dat. Grafy kontinuálních proměnných, kde na ose X je výskyt ano /ne (prezence /absence) (zúžení – interval spolehlivosti mediánu): klimatické faktory BIO4 – teplotní sezónnost (směrodatná odchylka SD*100), BIO8 – průměrná teplota nejchladnějšího měsíce (t*10), BIO12 – průměrné roční úhrny srážek (mm), BIO15 – sezónnost srážek (variační koeficient); DMT – nadmořská výška (m n. m.); sklonitost svahu (%); TMI – topografický index vlhkosti (nemá jednotky).....	24
Obr. 8 Typ půdy - množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	26
Obr. 9 Nadmořská výška - množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	27
Obr. 10 Sklonitost svahu - množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	28
Obr. 11 Krajinný pokryv (CORINE) - počet absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	29
Obr. 12 ROC křivka logistické regrese Modelu 9.....	31
Obr. 13 Boxplot znázorňující, zda Model 9 předpovídá vyšší pravděpodobnosti výskytu pro nově sesbíraná data ukazující prezenci (ANO) 1) data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018); 2) data Vohralíka a Melichara (2016); 3) vlastní nálezová data; než v bodech, kde nová data ukazují absenci (NE).....	32
Obr. 14 Model 9 – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, v podkladu automapa (Geoportal.gov. 2010).....	33
Obr. 15 Model 9 – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, jen na orné půdě a sloučené kategorii luk (louky, sady, vinice)	33
Obr. 16 Boxplot znázorňující, zda Validovaný model BP předpovídá vyšší pravděpodobnosti výskytu pro nově sesbíraná data ukazující prezenci (ANO) 1) data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018); 2) data Vohralíka a Melichara (2016); 3) vlastní nálezová data; než v bodech, kde nová data ukazují absenci (NE).....	34
Obr. 17 ROC křivka logictické regrese Validovaného modelu BP	35

Obr. 18 Validovaný model BP – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, faktory ŽP stejné jako v bakalářské práci (Mašín 2017), ale jen s daty AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), daty Vohralíka a Melichara (2016), vlastní nálezořová data, v podkladu automapa (Geoportal.gov. 2010).....	35
Obr. 19 Validovaný model BP – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, jen na orné půdě a sloučené kategorii luk (louky, sady, vinice).....	36
Obr. 20 Validovaný model BP – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice.....	36

Seznam příloh

Příloha 1 Popisná statistika jednotlivých faktorů životního prostředí	53
Příloha 2 Výsledky t–testu a Mann-Whitneyova testu pro jednotlivé faktory ŽP, průměrné hodnoty pro prezenční (1) a absenční (0) body, jen pro kontinuální proměnné	54
Příloha 3 Typ půdy – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	55
Příloha 4 Typ půdy – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	55
Příloha 5 Nadmořská výška (DEM) – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	55
Příloha 6 Nadmořská výška (DEM) – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	56
Příloha 7 Sklonitost svahu – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	56
Příloha 8 Sklonitost svahu – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	56
Příloha 9 Krajinný pokryv (CORINE) – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	57
Příloha 10 Krajinný pokryv (CORINE) – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.....	57

Příloha 11 Výskyt křečka polního v ČR, aktualizovaná nepublikovaná nálezová databáze včetně roku 2018 od prof. MVDr. Emila Tkadlece CSc.....	58
Příloha 12 Výskyt křečka polního v ČR, nálezová data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), v rozmezí let 2010 až 2019	58
Příloha 13 Výskyt křečka polního v ČR, nálezová data Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016)	59
Příloha 14 Výskyt křečka polního v ČR, vlastní nálezová data z roku 2018.....	59
Příloha 15 Porovnání výskytu křečka polního v Pardubickém kraji na podkladu predikční mapy z bakalářské práce (Mašín 2017), vyobrazení podle použitých nálezových dat, : 1) aktualizovaná nepublikovaná nálezová databáze včetně roku 2018 od prof. MVDr. Emila Tkadlece CSc.; 2) nálezová data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018); 3) nálezová data Vohralíka a Melichara (2016); 4) vlastní nálezová data z roku 2018.....	60
Příloha 16 Porovnání nejlepších modelů, v podkladu automapa (Geoportal.gov. 2010): 1) Model 1; 2) Model 8; 3) Model 9 – nejlepší model; 4) Validovaný model BP ale jen s daty AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), daty Vohralíka a Melichara (2016) a vlastní nálezová data; 5) původní model bakalářské práce (Mašín 2017) – s přesnějším grafickým znázorněním menších rozdílů v predikci, kvůli grafickému porovnání s novými modely; 6) Původní model bakalářské práce (Mašín 2017) v původním zobrazení s původními body	61

Seznam zkratk

ArcGIS – software firmy Esri ArcGIS for Desktop 10.1

ČR – Česká republika

EU – Evropská unie (European Union)

GIS – geografický informační systém (geographic information system)

IUCN – International Union for Conservation of Nature

např. – například

SDM – modelování distribuce druhů (species distribution modeling)

ŽP – životní prostředí

Poděkování

Děkuji především vedoucímu této práce RNDr. Tomáši Václavíkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a připomínky k diplomové práci. Náležité poděkování patří prof. MVDr. Emilu Tkadlecovi, CSc. za poskytnutí dat a konzultace. Děkuji za poskytnutí dat především z Čech od RNDr. Vladimíra Vohralíka, CSc. a Mgr. Vladimíra Melichara, dále děkuji za poskytnutí dat © AOPK ČR a za odborné konzultace RNDr. Josefu Eichlerovi, CSc. Velmi děkuji své snoubence, rodině a blízkým za podporu při studiu.

1. Úvod

Analýza vztahu mezi prostředím a studovaným druhem organismu v něm žijícím byla v ekologii vždy ústředním tématem. Především byla brzy uznána důležitost klimatu pro vysvětlení distribuce fauny a flóry (Humboldt et Bonpland 1807; de Candolle 1855). Se vznikem nových výkonných statistických technik a nástrojů GIS se v ekologii velmi rychle vyvíjí modely distribuce druhů (species distribution modelling – SDM), které jsou stále častěji používány při rozhodování o ochraně životního prostředí. Tyto modely jsou založeny na kombinaci prostorových údajů o prostředí a prostorově lokalizovaných biologických záznamech o zájmovém druhu (Guisan et al. 2013). Ve vědecké literatuře je však málo zdrojů dokazujících, že SDM podporují řešení problémů v oblasti ochrany přírody (Guisan et al. 2013) a i když existují možnosti, jak předpovídat změny v biologické rozmanitosti, nejsou vždy plně využity v praktické ochraně přírody (Araújo et al. 2019). Bylo vyvinuto velké množství habitatových modelů, které jsou využívány v oboru biogeografie, konzervační biologie a výzkumu změny klimatu (Guisan et Zimmermann 2000). Implementace těchto metod a faktorů je používána i při managementu druhů a stanovišť. Problematika je ale složitá, rozšíření druhů se mění, zmenšuje, rozšiřuje a dělí se na menší populační celky v reakci na různé faktory, jako jsou například globální změny životního prostředí (Chen et al. 2011).

Hlavními příčinami poklesu druhové rozmanitosti fauny a flóry v zemědělské krajině jsou nedávné a rychlé změny zemědělských postupů (Kletty et al. 2019), kterým se jen málo druhů dokázalo přizpůsobit. Intenzifikace zemědělství vedla k homogenizaci a zjednodušené struktuře krajiny s velmi pozměněnou vegetací, kde zcela chybí nebo je málo trvalých travních porostů, půdy ležící ladem, remízků, živých plotů, menších vodních toků (jsou svedeny do meliorací) a osamocených stromů v krajině (Stoate et al. 2001, Benton et al. 2003).

Probíhající globální změny a antropogenní zásahy ovlivňují množství vhodných biotopů a způsobují také úbytek samotných druhů. V Evropě může být takovýmto příkladem i křeček polní (*Cricetus cricetus*) (Linnaeus, 1758). Křeček polní se stále více stahuje do klimaticky a edaficky optimálních stanovišť. Z výsledků studií (Reiners et al. 2011; Mašín 2017) vyplývá, že výskyt křečka polního je spojen s klimatickými podmínkami. V posledních letech je v některých zemích EU a také v ČR zájem

o detailnější studium rozšíření a míry ohroženosti tohoto druhu. Reiners et al. (2011) analyzoval preference stanovišť křečka ve velkém prostorovém měřítku na území středního Německa. V České republice byla také analyzována preference stanovišť (Mašín 2017) pro křečka. Proto je potřeba porovnávat výsledky tohoto modelu s novými terénními daty (tj. validace SDM).

Tato diplomová práce se zabývá validací modelu rozšíření křečka v ČR vytvořeného v rámci předchozího výzkumu (Mašín 2017) a vytvořením nového habitatového modelu na základě konsolidovaných dat z různých zdrojů. V dalších zemích nebyla doposud provedena studie o habitatovém modelu křečka polního. I přes volnou dostupnost analytických softwarů a možnosti využít buď dat odborníků na studovaný druh, nebo dat získaných odbornou veřejností (např.: data z Nálezové databáze Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky © AOPK ČR) není modelování distribuce druhů časté, i když by mohlo pomoci k ujasnění otázek ohledně nároků studovaného druhu na ŽP.

1.1 Modelování distribuce druhu

Se zjištěním základní myšlenky o ekologických nikách a jejich vztahu k faktorům ŽP, tedy i k distribučním oblastem, kterou zveřejnil Hutchinson (1978), se lze postupným historickým vývojem dostat k modelování distribuce druhů, které ukazuje rozmístění studovaného druhu nebo stanoviště v prostoru a čase vyobrazené na mapě (Franklin 2009). Už v dřívějších dobách byl zohledňován v literatuře hierarchický pohled na procesy, význam klimatických proměnných v určování habitatových preferencí a význam biotických interakcí určujících bližší specifikaci místa výskytu daného druhu (Grinnell 1914). Stále, jako v historii, se používají k definování distribuce klimatické proměnné a další kvantifikovatelné faktory prostředí jako jsou nadmořská výška, typ půdy a další.

Metody SDM lze rozdělit na dva proudy: (i) parametrické (statistické) metody, (ii) neparametrické metody (machine-learning) (Elith et al. 2006). Je také potřeba určit, zda cílem je extrapolovat /interpolovat výskyt studovaného druhu v oblastech, kde zatím nebyl zaznamenán. Pokud tedy chceme extrapolovat výskyt nebo určit faktory ŽP ovlivňující výskyt, je vhodnější použít parametrické metody. Opačně pro interpolaci výskytu je vhodnější použít neparametrické metody (Esfahani 2008).

Výběr modelovací techniky musí být určen hlavně podle studovaného druhu a jeho lokalit výskytu. Vhodné je vybrat metodu odborným posudkem na základě literatury nebo data otestovat více než jednou modelovací metodou (Franklin 2009). Neexistuje však jedna metoda trvale nejlepší pro všechny studované druhy živočichů a rostlin, různá území a různé realizace a aplikace výsledných modelů (Hao et al. 2019, Elith 2009).

Mezi metody používané pro SDM lze zahrnout například neurální sítě, ordinační a klasifikační metody, bayesovské modely, lokálně vážené přístupy (např. GAM – Generalized Additive Model) nebo dokonce kombinace těchto modelů (Guisan et Zimmermann 2000). V modelování distribuce je často využívána vícenásobná regrese a její zobecněná podoba (GLM – generalized linear model), konkrétně nejčastěji logistická regrese (Franklin 2009). Pro SDM je nejvhodnější využít flexibilní generalizace běžné lineární regrese, protože modelování distribuce druhů téměř vždy zahrnuje více prediktorů, nelineární funkce a závisle proměnnou, které je binární, numerická nebo ordinální (Franklin 2009). Obecné základní kroky při tvorbě modelu jsou získání dat o výskytu, výběr a tvorba modelu a následné hodnocení modelu.

Habitatové modely vytvořené metodou SDM jsou vhodné k odůvodnění, proč jsou určité lokality více vyhovující pro studovaný druh než jiné. Účel výsledků SDM je především identifikovat místa vhodná pro přežití populací studovaných druhů prostřednictvím identifikace jejich environmentálních požadavků (faktorů ŽP) (Soberón et Nakamura 2009). Na základě zjištěných faktů, jež daný druh preferuje, lze SDM dále využít k predikci výskytu či prostorového rozšíření (Franklin 2009; Araújo et al. 2019), nejlépe ve formě prediktivní mapy.

1.2 Validace

Podle Morrison et al. (1998) jsou různé fáze vývoje modelu: koncepční formulace, statistická formulace, kalibrace a hodnocení modelu. Při hodnocení neboli validaci modelu je důležitým bodem výběr nejlepšího modelu, který může být buď založen na směrodatné odchylce, nebo vybírán podle indexu jako je AIC (Akaike Information Criterion) (více v kapitole 3.3 Analýza dat). Následná validace samotných modelů je zaměřena na kvantifikaci přesnosti predikce, která určuje schopnost modelu predikovat výskyt (Franklin 2009). V této době je hodnocení modelů spíše orientováno na prediktivní výkon (Franklin 2009), ale důležitá je i důvěryhodnost modelu

(přijatelnost pro uživatelskou komunitu) a ekologické nároky druhu (Morrison et al. 1998).

Nejjednodušší ověření přesnosti predikce je vizuálním zhodnocením, jestli je co největší počet dat správně klasifikován v predikované oblasti (Fielding et Bell 1997). Modely lze také hodnotit pomocí rozdílů mezi pozorovanými a predikovanými hodnotami. Nejvhodnější ověření prognostických modelů je však pomocí nově shromážděné sady dat, která nebyla použita k odhadu parametrů nebo ověření pomocí nezávislých údajů, velmi často nově shromážděných dat (Franklin 2009). Pro vytvoření robustního prediktivního modelu je potřeba pro odhad přesnosti predikce použít náhodné rozdělení, pro ověření odhadu konečných parametrů modelu je nejvhodnější použít všechna dostupná data (Fielding et Bell 1997, Franklin 2009).

Pro validaci modelu lze použít křížovou validaci, principem je rozdělit data do skupin stejné velikosti. Vždy jednu skupinu zadržet na testování modelu a zbytek (1 ze 4 skupin) použít na trénování modelu (Witten et al. 2011). Data je potřeba rozdělit na trénovací část (75 % bodů), ze které je vytvořen predikční model, a testovací část (zbylých 25 %), která je použita k výpočtu AUC (Witten et al. 2011). Toto schéma je opakováno 4krát a ze všech 4 spočítaných AUC pro testovací část je vypočítána průměrná hodnota.

Možností, jak dále statisticky hodnotit přesnost vypočítaného modelu, je více, a to pomocí: 1) ověření nově shromážděnými daty (Franklin 2009) 2) celkové hodnoty chyb (pokud jsou hodnoty chyb rozdílné); 3) ROC křivky; 4) celkové chyby (odchylka), pokud je při regresi počítána predikce z numerických hodnot (Witten et al. 2011). Pro výpočet přesného modelu je výhodou, pokud je možnost seskupit větší množství nálezových dat, plus je použito velké množství faktorů ŽP (Hao et al. 2019). Dále je vhodné zajistit nejvhodnější seskupení predikčních vrstev, tedy faktorů ŽP (Hao et al. 2019).

1.3 Rozlišení populací křečků v Evropě

Otázkou zmenšujícího se areálu rozšíření křečka se zabývalo už více vědců na úrovni států (Grulich 1975; Vohralík et Anděra 1976; Banaszek et al. 2010; Tkadlec et al. 2012; Vohralík et Melichar 2016; Tissier 2017) nebo v rámci celé Evropy (Surov et al. 2016). Při dnešním rozmachu moderních technologií a rozlišování druhů a poddruhů na základě genetických analýz je zkoumán i křeček polní tímto způsobem.

Při zkoumání populací křečků v celé Evropě bylo identifikováno několik starých linií mtDNA. Neumann et al. (2004) a Neumann et al. (2005) odhalili v Evropě rozdělení křečka do dvou odlišných genetických linií, jednoho označeného „North“ a druhého „Pannonian“ (založeného na více markerech mtDNA a mikrosatelitech). Populace křečka v ČR jsou podobné s jižním „panonským“ regionem (Neumann et al. 2004, 2005, Pedreschi et al. 2019). Poslední dělení je podle Korbuet et al. (2019) na: 1) „Severní“ ve Francii, Belgii, Nizozemsku, Německu a západním Polsku (Neumann et al. 2005, Melosik et al. 2017), 2) „Pannonia“ v Panonské pánvi, jižním Polsku a středním a západním Rumunsku (Neumann et al. 2005, Banaszek et al. 2010, Hegyeli et al. 2015). V Rumunsku lze soudit dle prostorového rozmístění populací křečka a genetické rozmanitosti s možným současným nebo velmi nedávným genetickým tokem o dobrém stavu populací, alespoň ve srovnání s mnoha jinými evropskými zeměmi (Hegyeli et al. 2015). V nedalekém jižním Polsku je populace křečka okrajovou populací s obecně nízkou úrovní genetické rozmanitosti i přes výskyt v centrální oblasti rozšíření (Pedreschi et al. 2019). Polské populace představují komplexní genetický vzor ukazující promíchání genetické informace jak z Ruska, tak z Panonie (Banaszek et Ziomek 2011). Podle Korbuet et al. (2019) je ještě další dělení na 3) „E1“ ve východním Polsku (Banaszek et al. 2010), 4) „E0“ ve středním Rusku, Uralském regionu, severním Kazachstánu a na Krymu a Kavkazu v regionu Ciscaucasian (Feoktistova et al. 2017).

1.4 Habitatové faktory ovlivňující rozšíření křečka

Křeček polní je obvykle vázán na velmi specifické parametry stanoviště (Reiners et al. 2011) a je významným ukazatelem kvality zemědělské krajiny, vyžaduje pestrou zemědělskou krajinu s mozaikou menších obdělávaných polí. Třeba ve Francii proběhlo mnoho opatření ke zlepšení stanovišť křečka (O'Brien 2015) a také vypouštění chovaných jedinců za účelem znovuvytvoření divokých populací (Villemey et al. 2013). Sledování volně žijících křečků vedlo k alarmující zprávě o tom, že druh zmizel kvůli degradaci svého biotopu, kde je zemědělská krajina velmi fragmentovaná silniční infrastrukturou a navíc bez jakéhokoli ochranného vegetačního krytu po žních (Tissier 2017). Zjištění lokalit dlouhodobých výskytů křečků však není snadné kvůli přesouvání nor, které jsou vázané nejen na skladbu polních plodin (Tissier 2017) a také je celkově na polích opětovné vyhledávání pobytočných znaků dlouhodobě zaměřeno na ptáky

a bezobratlé, zatímco velmi málo studií zkoumalo efekt na drobné savce (Kletty et al. 2019).

Habitat, kde křeček přežívá, jsou především člověkem vytvořené biotopy (pole a louky) s menší intenzitou hospodaření, tedy např. na polích, která jsou rozdělena biopásy s odlišnými druhy plodin než ve velkých monokulturních lánech (Fisher et Wagner 2016), přirozený výskyt je v úrodných stepích (Pedreschi et al. 2019). Na polích je však velmi častá intenzifikace (Loos et al. 2019), při které je půda utužována, ztrácí úrodnost a především biologickou rozmanitost. Z důvodu, že křečci hrabou podzemní nory, které využívají jako přechodné útočiště nebo hrabou hlubší většinou přes 1 m na hibernaci přes zimní období (Kletty et al. 2019), je pro ně velmi důležitá i hloubka a skeletovitost půdy.

Velký vliv na reprodukci křečka má také druh pěstovaných kultur na polích (Tissier 2019). Důsledkem mizení extenzivně obhospodařovaných biotopů je snížení rozmanitosti potravní nabídky pro křečka, což má za následek snížení jeho tělesné kondice. Dále kvůli nedostatku potravy nebo nižší nutriční kvalitě potravy nastává snížená reprodukční úspěšnost křečka (Kletty et al. 2019). Výzkum zaměřený na tělesnou hmotnost křečka při probuzení z hibernace z let 1937 až 2014 ukazuje, že změna klimatu (oteplení a sucho) a množství monokultur kukuřice (po sklizni monokultur kukuřice má na podzim velmi omezenou potravní nabídku) mají vliv na sníženou tělesnou hmotnost křečků až o 21 % (Tissier et al. 2016). Změny životního prostředí pro křečka (např. sucho a záplavy, velikost úrody, orba) mohou vést k velkému metabolickému stresu, který lze posoudit stanovením hladiny stresových hormonů nebo metabolitů v krvi zvířat, výkalech nebo slinách (Sheriff et al. 2011). Z průzkumu plodin, které preferují křečci v zajetí (kukuřice, pšenice, vojtěška, hlízy brambor), preferovali křečci zrna pšenice a kukuřice. Kukuřice však z důvodu nedostatku vitamínu B3 byla nejméně vhodná pro dobrou reprodukční úspěšnost a hibernaci křečků chovaných v zajetí (Tissier et al. 2017).

Faktor ovlivňující výskyt křečka na polích je i predace, tedy jestli je křeček schopný přežít v dané lokalitě s určitým predacním tlakem. Při sklizni dříve než v polovině září je potřeba ponechat nesklizené pásy plodin, aby poskytly potravu a vegetační krytí před predátory především v okolí mateřských nor, aby populace mohla zůstat životaschopná (Ulbrich et Kayser 2004). Nejdůležitější je ochrana mladých jedinců na začátku léta (v květnu a červnu) - první vrh v daném roce je totiž velmi

podstatný pro přežití celé populace. Ochrana dospělých samic křečků je důležitá v průběhu celé vegetační sezóny (Ulbrich et Kayser 2004). Lokality výskytu lze ochránit proti pozemním predátorům pomocí elektrických plotů, což má silný pozitivní vliv na přežití křečků a umožní jim dostatek času na rozmnožování (Villemey et al 2013). Tato studie ukázala, že křečci mimo ploty zemřeli během 2 týdnů, oproti tomu uvnitř plotu měli 4 samice úspěšně vyvedený vrh mláďat. Obecně bylo vypouštění křečků účinnější u polí pšenice než u vojtěšky. Příčinou smrti z celkového počtu 70 křečků byla ze 76 % predace; ostatní příčiny smrti (24 %) byly neznámé. Autoři navrhují kombinované opatření při zpětném vypouštění křečků, a to kombinaci nesklizené zemědělské plodiny (spíše pšenice), která zajišťuje vegetační krytí spojené s použitím elektrického plotu proti predátorům (Villemey et al 2013). Další možnou ochranou je antipredační trubice, kterou křečci využívají jako útočiště před predátory (Tissier 2017).

Většina nálezových bodů ve studiích Reiners et al. (2011); Mašín (2017) byla na plochách s nižším ročním srážkovým úhrnem, než je průměrný stav studované oblasti Německa a ČR. Během hibernace (říjen-březen) a aktivního období křečka (duben-září) pozorovali Tissier et al. (2016) v letech 1937 až 2014 významné zvýšení průměrů srážek během období hibernace. Dále zjistili mírný nárůst průměrných teplot během období hibernace (Tissier et al. 2016). Dalším významným faktorem je křečkem preferovaná nižší nadmořská výška (Reiners et al. 2011; Mašín 2017).

Neustále zvyšující se provoz v dopravě má také značný vliv na snižování populací. Ve studii Hędrzak et al. (2018) bylo během dvou let výzkumu nalezeno 18 mrtvých křečků v příměstské oblasti, ale jen 2 na venkovské lokalitě. Po zhodnocení příčiny smrti byly pouze 2 po útoku predátora, ale 5 jedinců bylo sraženo autem. Pokles populační hustoty křečka dále velmi často souvisí se ztrátou stanovišť kvůli rozvoji infrastruktury a urbanizaci (Hędrzak et al. 2018). Ale i městské oblasti mohou být alternativním stanovištěm křečků, viz například na okraji aglomerace Krakova v Polsku (Hędrzak et al. 2018).

1.5 Využití modelů pro predikci křečka

Studiem křečka obecného se zabývají především v Polsku (Melosik et al. 2017), Francii (Kletty et al. 2019, Tissier 2017), Holandsku a také v Německu (Reiners et al. 2011) a České republice (Tkadlec et al. 2012; Vohralík et Melichar 2016, Vohralík et Melichar

2019). Ale habitatové modely byly v literatuře od roku 2000 v evropském prostoru nalezeny pro křečka jen dva - v Německu (Reiners et al. 2011) a v Česku (Mašín 2017). Cílem těchto dvou studií bylo charakterizovat preference biotopů křečka za pomoci statistických modelů znázorněných na mapách a zároveň kvantifikovat vysvětlující hodnotu proměnných.

Podle Reiners et al. (2011) lze současnou situaci a rozmístění křečka polního dnes považovat hlavně za důsledek intenzifikace zemědělství v Evropě. Poprvé ve velkém prostorovém měřítku byla provedena analýza preferovaných stanovišť křečka v německé studii Reinerse et al. (2011) v Hesensku ve středním Německu. Nálezové body křečka byly hodnoceny v závislosti na 17 proměnných životního prostředí, jako jsou 1) klimatické faktory (průměrné roční srážky, průměrná roční teplota), 2) půdní charakteristiky, 3) topologické údaje a složení krajiny. Na základě těchto a dalších faktorů ŽP se pokusili pomocí statistických modelů charakterizovat preferenci biotopů křečka a určit hodnoty vysvětlujících proměnných. Z takto získaných informací bylo cílem studie formulovat model vhodnosti stanoviště, který lze extrapolovat. Výsledky Reiners et al. (2011) ukazují, že distribuce křečka je závislá především na klimatických faktorech, ale také nepostradatelné jsou faktory složení krajiny a vlastnosti půdy. Je pozorováno (Reiners et al. 2011) neustálé stahování křečka do klimaticky a edaficky optimálních stanovišť. Podle Mašín (2017) na území ČR nemůžou klimatické faktory a nadmořská výška jednoznačně určit preferované území pro výskyt křečka, protože v nejnižších polohách se vyskytují z půdních typů především kvalitní hluboké půdy – černozemě. A křeček preferuje hluboké půdy kvůli hrabání nor, proto jsou oblasti s vyšší nadmořskou výškou (pahorkatiny) znevýhodněny s ohledem na nejvhodnější typ půd. Výsledky Mašín (2017) ukazují, že křeček se v ČR převážně vyskytuje na půdním typu černozem a černice (pozitivní efekt). V černozemích jsou lokalizovány nálezové body křečků v 51 % / nenálezové v 17 % z celkového počtu. Dalším půdním typem je černice s nálezem ano 6 % / ne 2 %. Pro predikční model Mašín (2017) byly použity jak černice a černozem, tak kambizem (negativní efekt), klimatické faktory (teplotní sezónnost a sezónnost srážek) a faktor nadmořské výšky. Model předpověděl převážně nížinné oblasti, dvě největší jsou v okolí řek Labe a Moravy.

Tato práce používá SDM k nové predikci rozšíření křečka polního v České republice za použití většího množství nálezových dat oproti bakalářské práci (Mašín 2017) a především bude prověřovat správnost predikce modelu z roku 2017. Protože

SDM je způsob, jak odhadnout na základě pozorovaných přítomností a (někdy) nepřítomností skutečné a potenciální distribuční oblasti nebo soubory příznivých stanovišť pro studované druhy (Soberón et Nakamura 2009).

2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je validace modelu prostorové distribuce křečka polního (*Cricetus cricetus*) vytvořeného ve vlastní bakalářské práci (Mašín 2017) a vytvoření nového habitatového modelu s novými daty. K dosažení těchto cílů je potřeba následujících kroků:

- Rešerše literatury o ekologických nárocích a rozšíření křečka polního - konsolidace a příprava nálezových dat křečka v ČR - příprava prostorových dat (map) o faktorech prostředí
- Prostudování metod pro "species distribution modeling"
- Validace modelu vytvořeného v rámci předchozího výzkumu a vytvoření nového habitatového modelu na základě konsolidovaných dat z různých zdrojů
- Vytvoření nového habitatového modelu s novými daty

3. Materiály a metody

Při tvorbě habitatového modelu byl využit software ArcGIS for Desktop 10.1 a NCSS 9. Kvůli validaci byla zájmovým územím celá Česká republika, se stejným okrajem a rozsahem jako v bakalářské práci, tedy ve formátu raster s rozlišením 100 m/pixel a oříznutí hranicemi ČR (ArcČR® 500; Mašín 2017). Shromážděné body s potvrzenou prezencí či absencí křečka byly vyříděny a zpracovány pro statistické analýzy. Následně byly použity pro vytvoření prediktivní mapy s hodnotami, kde má každý pixel prediktivní mapy vypočítanou pravděpodobnost výskytu křečka.

3.1 Vrstvy faktorů životního prostředí vstupujících do modelu

Pro vytvoření modelu odpovídající kvality je výběr použitelných vstupních vrstev (prediktorů) pro celou Českou republiku omezený samotnou (ne)existencí jednotlivých vrstev a finanční dostupností některých dat o ŽP. Vstupní vrstvy faktorů byly použity jen bezplatné, veřejně dostupné. Podle Soberón et Nakamura (2009) jsou nejvhodnější velmi velké a přesné empirické databáze biotických faktorů, bez kterých by bylo obtížné posoudit relativní roli abiotických a biotických faktorů při určování distribuce druhů.

Po statistickém zhodnocení byly všechny vhodné faktory ŽP – vstupní vrstvy modelu distribuce křečka, uloženy s těmito parametry: 1) formát raster; 2) rozlišení pixelu 100 m; 3) stejný okraj všech – oříznutí hranicemi ČR (ArcČR® 500). Při modelování distribuce v ArcGIS je důležité tento postup dodržet kvůli analýzám, aby se u všech použitých vrstev překrývaly pixely. Analyzované faktory ovlivňující výskyt křečka jsou souhrnně sepsány v tabulce (Tab. 1) a následně ukázány náhledy na použité mapové vrstvy zobrazující tyto faktory. Faktory ŽP, jako jsou typy půd, krajinný pokryv (CORINE) a nadmořská výška (DEM), byly hodnoceny pomocí kontingenčních tabulek, jsou to totiž kategorické proměnné.

Tab. 1 Soupis vstupních vrstev faktorů životního prostředí

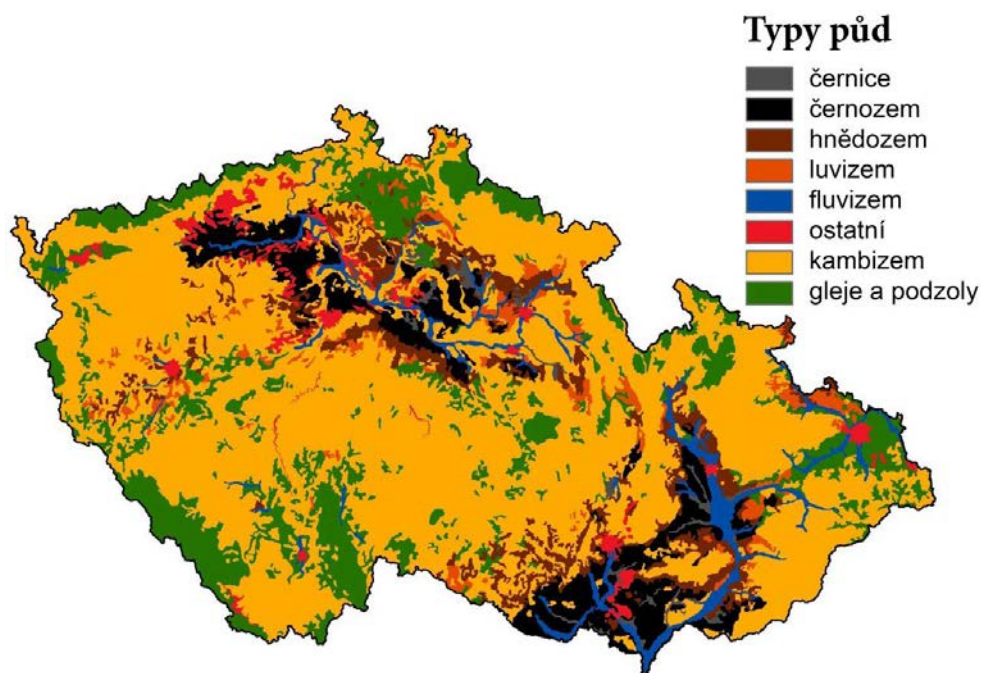
Název		Odkaz		
Základní rozdělení vrstev faktorů ŽP:	Jednotlivé proměnné (vrstvy):	Dostupné z:	Literární odkaz:	
typy půd	černice černozemě hnědozemě luvizemě fluvizemě kambizemě gleje a podzoly ostatní	http://micka.geology.cz/records/500e7063-e828-4e82-b533-91c80a010817?language=cze	portál České geologické služby (ČGS 2017)	
klimatické faktory , datová sada WorldClim – Global climate data	BIO4; BIO8; BIO12; BIO15	http://www.worldclim.org/version1	(WorldClim)	
krajinný pokryv (CORINE – Coordination of information on the Environment)	orná; louky; lesy; venkov; průmysl; nevhodné	http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012	(Copernicus Land Monitoring Service. 2016)	
nadmořská výška SRTM DEM – Shuttle Radar Topography Mission Digital Topographic Model	DEM	http://www.gisat.cz/content/cz/produkty/data-ke-stazeni	upraveno, původní zdroj (© GISAT 2007)	
sklonitost svahu	sklonitost svahu	(odvozená z datové vrstvy SRTM DEM)	upraveno	
Topografický index vlhkosti (TMI – topographic moisture index)	Topografický index vlhkosti (TMI)	(odvozená z datové vrstvy SRTM DEM)	Moore et al., 1991	

Použité faktory ŽP byly použity stejné jako v bakalářské práci (Mašín 2017). Faktor vzdálenosti bodů od silnic a dálnic v ČR nebyl použit z důvodu způsobu sbírání nálezových dat. Velmi mnoho bodů se totiž vyskytovalo přímo na okraji silnice a určitého (mapovaného) pole, kde byl proveden průzkum. Souřadnice GPS byly s velkou pravděpodobností zadávány až v autě mapovatele. Proto v tomto modelu nelze zjistit, v jaké vzdálenosti od silnice se křeček skutečně vyskytuje. A kvůli stejné příčině nelze použít vzdálenost od vodních ploch a řek. Data jsou situována v okolí silnic, ne v konkrétním místě výskytu.

Použitá základní mapa typů půd byla získána z portálu České geologické služby (ČGS 2017) v měřítku 1 : 50 000. Hlavní dělení je do 8 kategorií vyobrazených v náhledu na data (Obr. 1).

Vrstva byla rozčleněna na:

- 1) černice – černice a šedozemě; 2) černozemě; 3) hnědozemě; 4) luvizemě; 5) fluvizemě; 6) kambizemě; 7) gleje a podzoly – pseudogleje, gleje, podzoly, organozem; 8) ostatní – rendziny a pararendziny, smonice, velké vodní plochy, velká města, území změněná důlní činností.



Obr. 1 Typy půd – kategorie rozděleny podle vhodnosti pro výskyt křečka. Upraveno, původní zdroj: ČGS 2017

Pro habitatový model studovaného druhu jsou většinou nejdůležitější klimatické faktory. Použítá jsou data WorldClim – Global climate data, dostupné na (<http://www.worldclim.org/version1>) (Hijmans et al. 2005), protože představují nejvhodnější a nejaktuálnější volně dostupná data. Data jsou získána pomocí interpolace průměrných hodnot z měsíčních klimatických pozorování meteorologických stanic za více než 10 let a jsou interpolována pro období 1950 – 2000. Pro statistické hodnocení byly použity podle stupně korelace jen 4 z 19 klimatických vrstev (Foltánek 2014). Data teplotní proměnné jsou ve °C, srážkové proměnné jsou v mm.

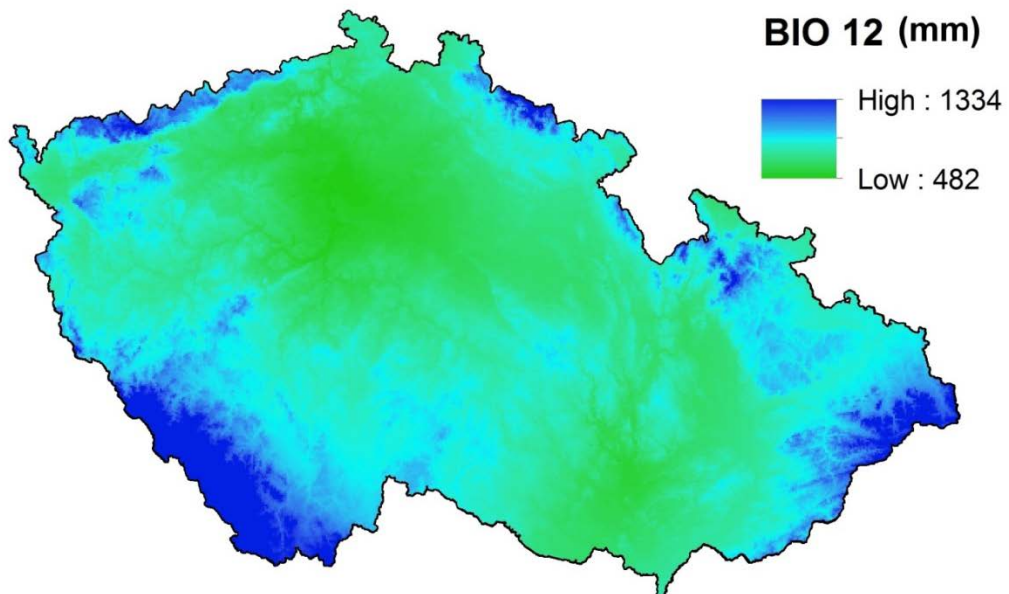
Použité vrstvy:

BIO4 – teplotní sezónnost (směrodatná odchylka – SD * 100)

BIO8 – průměrná teplota nejchladnějšího měsíce ($t \cdot 10$)

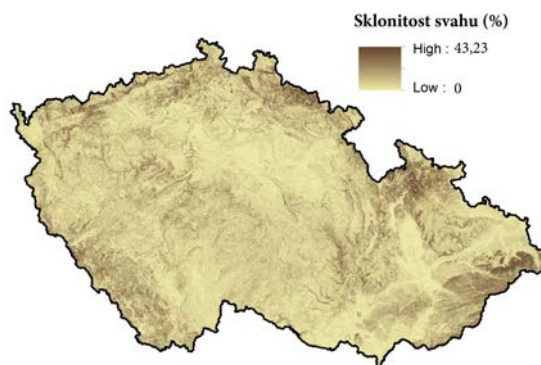
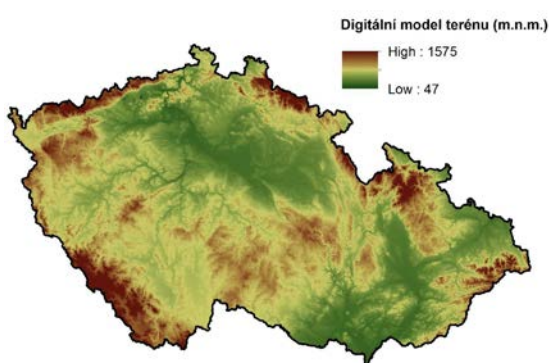
BIO12 – průměrné roční úhrny srážek

BIO15 – sezónnost srážek (variační koeficient)



Obr. 2 BIO 12 – průměrné roční úhrny srážek (mm). Upraveno, původní zdroj: WorldClim

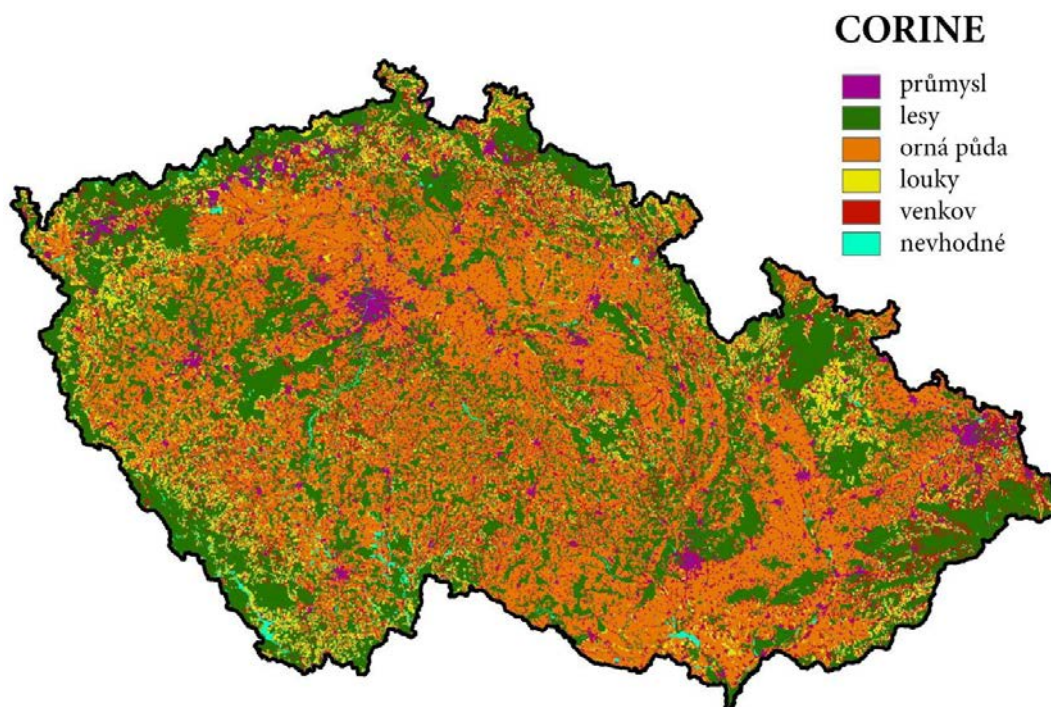
Nadmořská výška je reprezentována digitálním modelem terénu (DEM) (Obr. 3). Je to prediktor, který velmi často ovlivňuje samotné organismy a také ostatní charakteristiky ŽP jako je teplota a množství srážek. Rozmezí hodnot je 180 až 1575 m n. m., protože rozlišení je 100 m/pixel, tedy každý pixel je aritmetickým průměrem daného pixelu oblasti (© GISAT 2007). Faktor sklonitosti svahu (Obr. 4) byl odvozený v programu ArcGIS z datové vrstvy digitálního modelu terénu (DEM).



Obr. 3 Digitální model terénu (DEM – Shuttle Radar Topography Mission Digital Topographic Model) – vyobrazuje nadmořskou výšku (m n. m.). Upraveno, původní zdroj: GISAT 2007

Obr. 4 Sklonitost svahu (%) odvozena z Digitálního modelu terénu (SRTM DEM). Původní zdroj: GISAT 2007

Typ krajinného pokryvu je pro křečka důležité kritérium, protože jak z literatury, tak z terénních pozorování je zřejmé, že křeček žije především na polích, případně travních porostech. Data o krajinném pokryvu (land cover/land use) CORINE (Coordination of information on the Environment) byla použita z projektu z roku 2012 (Copernicus Land Monitoring Service 2016) v měřítku 1:100 000. Kvůli použití dat v predikčním modelu byla vrstva zjednodušena na menší počet sloučených kategorií, z 29 kategorií na 6 (půda, louky, lesy, venkov, průmysl, nevhodné), to vše zpracováváno v rastrovém formátu s velikostí 100 m/pixel a oříznuté hranicí ČR, všechny kategorie jsou znázorněny v náhledu na data (Obr. 5).



Obr. 5 Krajinný pokryv CORINE (Coordination of information on the Environment). Upraveno, původní zdroj: Copernicus Land Monitoring Service. 2016

3.2 Použitá nálezová data křečků

Pro validaci modelu z bakalářské práce (Mašín 2017) a vytvoření nového predikčního modelu byly sloučeny 4 zdroje nálezových dat (Obr. 6), dále uváděna jako konsolidovaná data:

- 1) aktualizovaná nepublikovaná nálezová databáze včetně roku 2018 od prof. MVDr. Emila Tkadlece CSc., dále uváděno jako data prof. Tkadlece), náhled na data (Příloha 11)
- 2) data AOPK ČR (Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky) z Nálezové databáze ochrany přírody (NDOP) (© AOPK ČR 2018), náhled na data (Příloha 12)
- 3) publikovaná nálezová data (Vohralík et Melichar 2016), použitá se svolením autorů, náhled na data (Příloha 13)
- 4) vlastní nepublikovaná nálezová data z roku 2018, sbíraná pro validaci modelu z bakalářské práce (Mašín 2017) dále uváděno jako vlastní nálezová data, náhled na data (Příloha 14).

Všechna nálezová data byla použita jen z rozmezí let 2010 až 2019. Nejvíce se tato časová selekce projevila na datech z AOPK ČR (© AOPK ČR 2018). Data poskytnutá od Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016) mají časové rozmezí 2012 – 2016 a data od prof. Tkadlece mají časové rozmezí 2010 – 2018.

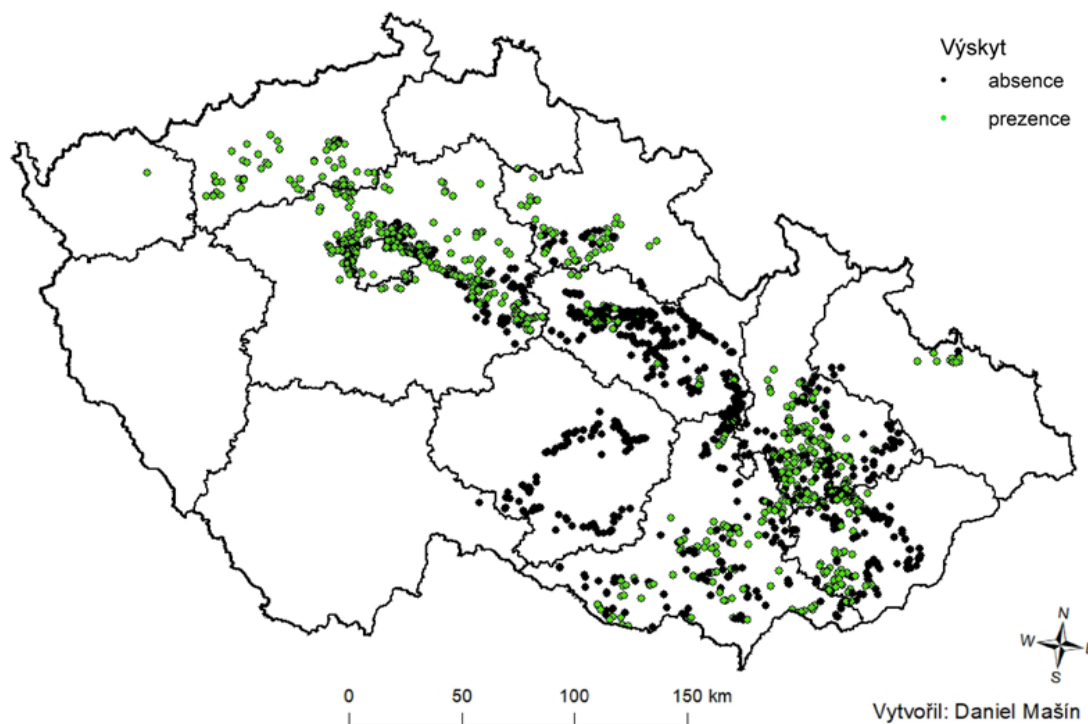
V konsolidované databázi byly odstraněny nalezené chyby – duplicitní údaje, které vznikly spojením dat v bodové vrstvě v programu ArcGIS. K odstranění duplicitních bodů bylo použito vytvoření „bufferu“ okolo všech dat a dále byl proveden „intersect“, aby byly zjištěny a odstraněny jednotlivé body, které mají mezi sebou vzdálenost menší než 100 m právě kvůli tomu, že jeden pixel faktorů ŽP u predikční mapy je přesně 100 m. Kdyby zůstalo více bodů na stejném pixelu, mohlo by se stát, že statistický model bude určité faktory ŽP nad/podhodnocovat. Systém, jak byly body upřednostněny, je následující: 1) vyřazení bodů absence, 2) upřednostnění prezenčních bodů prof. Tkadlece, 3) data Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016), 4) vlastní nálezová data. Jako nejčastěji vyřazená duplicitní data byla data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018). Z původního počtu bodů 2 051 (data od roku 2010 dále) zůstalo 1 760 záznamů. Vyřazeno bylo celkem 92 bodů, z toho 10 absencí a 281 nálezových, především kvůli tomu, že byly zaznamenány na stejném místě, většinou v okolí silnic. Množství dat z jednotlivých zdrojů je uvedeno v tabulce (Tab. 2). Pro analýzu bylo použito celkově 1 760 bodů ze všech sledovaných let, z toho 903 prezenčních a 857 absenčních bodů.

Nálezová data Vohralíka a Melichara (2016) byla sbírána od srpna do září minimálně čtyřikrát v mapovacím kvadrátu (pole faunistického mapování - Kartierung der Flora Mitteleuropas – KFME) na vhodné lokalitě – obilném poli. Nálezová data od prof. Tkadlece a vlastní nálezová data byla zjištěna metodou relativní hustoty křečka polního (shodná metoda jako pro hraboše polního). Každý bod byl určen na základě čtyř mapovacích transektů dlouhých nejméně 100 m vedoucích napříč polem (Tkadlec et al. 2012) v době od sklizně do následné orby. Vlastní nálezová data byla sbírána primárně v místech, kde model z bakalářské práce (Mašín 2017) predikoval výskyt (Příloha 15), ale kde terénní data dosud nebyla k dispozici. To znamená, že data byla sbírána v oblastech, kde nebyl proveden průzkum prof. Tkadlecem, například v blasti okolo města Jevíčko, kde bylo později zjištěno, že nejsou nálezové body ani od Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016) a data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018) zde také chybí. Další prozkoumaná oblast byla v okolí Vysokého Mýta, podél řeky Loučná, kde byla predikovaná vhodná oblast výskytu (Mašín 2017) až po obec Uhersko a dále cestou na Hrochův Týnec.

V této oblasti je jediný bod v použitých datech AOPK ČR (© AOPK ČR 2018) a v datech Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016) (Příloha 15), které ale při sběru dat nebyly známy. Data, jež byla známa od prof. Tkadlece, byla minimálně 15 km vzdálená, většinou nenálezová a na predikční mapě (Mašín 2017) v oblastech s menší pravděpodobností nálezu. Dále byla prozkoumána oblast v okolí města Přelouč, kde také nebyl proveden průzkum prof. Tkadlecem. Později bylo zjištěno, že dokonce v této oblasti nejsou data ani od AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), ani od Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016). Sice je tato oblast v okolí řeky Labe, kde výskyt byl pravděpodobný, ale body o nálezu křečka zde chyběly. V oblasti bez dosavadních průzkumů okolo Ústí nad Orlicí a Česká Třebová se vlastním průzkumem nepodařilo nalézt pobytové znaky přítomnosti křečka, i když na predikční mapě (Mašín 2017) (Příloha 16) je toto území znázorněno jako oblast s možným výskytem.

Tab. 2 Početní srovnání množství nálezových dat z datových souborů.

Zdroj dat	absence 0	prezence 1	Celkový součet
data prof. Tkadlece	640	180	820
vlastní nálezová data	180	19	199
data © AOPK ČR 2018	37	431	468
data Vohralík a Melichar 2016		273	273
Celkový součet	857	903	1760



Obr. 6 Výskyt křečka polního v ČR, v rozmezí let 2010 až 2019, konsolidovaná data od: 1) prof. Tkadlece, 2) AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), 3) Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016), 4) vlastní nálezořová data.

3.3 Analýza dat

Do souhrnné databáze byly ke každému bodu (prezenčnímu i absenčnímu) přiřazeny hodnoty jednotlivých faktorů ŽP. Tímto způsobem byly všechny prediktory (faktory ŽP) připravené pro následnou analýzu pravděpodobnosti výskytu, kde faktory ŽP jsou nezávislé proměnné a pomocí kterých lze vysvětlit závisle proměnnou - prezenci křečka. Touto analýzou bylo zjištěno rozmezí hodnot jednotlivých faktorů ŽP, které je pro studovaná data významné pro výskyt, a tím i pro modelovanou predikci druhu. Analýzy byly provedeny v softwaru NCSS 9 (NCSS, LLC vytvořeno Jerry L. Hintze, 1981).

Studovaná data byla podrobena systematickému zkoumání založeném na přezkumu jednotlivých faktorů ŽP. Tímto způsobem byly zjištěny ty nejdůležitější faktory pro aktuální prostorovou distribuci křečka. V místech souřadnic bodů, kde je zaznamenána prezence či absence křečka, byly (v daném pixelu protnutým tímto bodem) statisticky zhodnoceny faktory ŽP (Příloha 1). Byl použit t-test a neparametrický test shody mediánů, Mann-Whitneyův test (Příloha 2), aby šlo porovnat hodnoty s předchozí bakalářskou prací (Mašín 2017) a především zjistit statistickou významnost vlivů různých faktorů ŽP na prezenci či absenci křečka. Vzhledem k odchylkám je t-test

robustní, pro nezávislé velké výběry ($n > 40$) (Anděl 2007). Bylo testováno celkem 1 760 bodů na hladině statistické významnosti $\alpha = 0,05$; nulová hypotéza se rovnala shodnosti průměrů, test byl oboustranný.

3.3.1 Tvorba habitatového modelu

Pro SDM lze využít různé možnosti výpočtů. Statistická metoda, která byla použita, je lineární model, který používá všechna dostupná data k odhadu lineárního vztahu mezi X a Y . V globálním měřítku je lineární model velmi často využíván (Franklin 2009). Má však i nevýhody, vytváří spoustu předpokladů o struktuře dat, model má nízký rozptyl a vysokou zaujatost (Hastie et al. 2001). U logistické regrese je závisle proměnná Y binární proměnná, která nabývá hodnoty 1, pokud sledovaný jev nastal, v opačném případě je rovna 0. Protože jde o regresní model, je důležitý vztah pravděpodobností úspěchu či neúspěchu k hodnotám X_k , což jsou faktory ŽP. Tento modelovací rámec je pro SDM nejvhodnější, protože modelování distribuce druhů téměř vždy zahrnuje více prediktorů (Franklin 2009).

Pro výpočet logistické regrese byly do modelu postupně přidávány nezávisle proměnné (faktory ŽP), jako závisle proměnná byl výskyt křečka. Pravděpodobnost prezenčních bodů byla vypočítána pro každý čtverec o hraně 100 m v ArcGIS, Model Builder, podle vzorce (Hebák et al. 2007):

$$p_i = \frac{\exp(\lambda_i)}{1 + \exp(\lambda_i)},$$

kde p je pravděpodobnost výskytu na lokalitě i , λ_i (lambda) se vztahuje k faktorům ŽP.

Podrobněji rozepsaná část vzorce λ_i :

$$\lambda_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

Hodnota β_0 je intercept a následující další činitelé jsou $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ (regresní koeficienty). Hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n jsou prediktory výskytu studovaného druhu, jsou to proměnné faktorů ŽP. Z této rovnice použité v ArcGIS vyjde prediktivní mapa, kde každý čtverec o hraně 100 m má vypočítanou pravděpodobnost výskytu

prezenčních bodů křečka v rozmezí hodnot: 1 pro 100% pravděpodobnost výskytu a 0 pro absenci křečka.

Pro vytvoření nového habitatového modelu byla použita konsolidovaná data ze 4 zdrojů (3.2 Použitá nálezová data křečků). Bylo vytvořeno 10 nejlepších modelů (Tab. 3) habitatové preference křečka s různými faktory ŽP (3.1 Vrstvy faktorů životního prostředí vstupujících do modelu) (Tab. 4). Hodnocení nejlepšího modelu z vytvořených 10 modelů proběhlo dle:

- hodnoty AUC (area under the ROC curve – oblast pod ROC křivkou). AUC ukazuje hodnotu popisující kvalitu binárního klasifikátoru – presence /absence křečka. Může se pohybovat od 0,5 do 1, kde hodnoty do 0,5 lze interpretovat jako náhodné předpovědi a hodnoty nad 0,5 označují výkon lepší než náhodný (Franklin 2009)
- hodnoty AIC (Akaike Information Criterion), kde čím lepší model je, tak je hodnota menší
- hodnoty R^2 (koeficient determinace), která vyjadřuje, jakou část variability závisle proměnné model vysvětluje, nabývá hodnot od 0 do 1. Vyjádřeno v procentech ukazuje, kolik procent celkové variability dokáže model vysvětlit v rozmezí 0 až 100 %.

Pro porovnání všech 10 hodnocených modelů je vytvořena tabulka srovnávaných predikčních modelů (Tab. 3), seřazených dle názvu modelu. Výpočtem 10 modelů bylo zajištěno nejvhodnější seskupení faktorů ŽP (Hao et al. 2019) v nejlepším modelu. Podle zmíněných kritérií (AUC, AIC a R^2) byly vybrány 3 nejlepší modely. Nebyl vybrán a zhodnocen jen jeden nejlepší model, ale více modelů kvůli získání představy o rozdílech mezi jednotlivými modely.

3.3.2 Validace habitatového modelu

Pro ověření modelu z bakalářské práce (Mašín 2017) byla použita validace pomocí nově nasbíraných dat. Původní parametry modelu bakalářské práce (Mašín 2017) byly zachovány. Jedná se o 5 faktorů, které významně ovlivňují přítomnost křečka na lokalitě: 1) BIO 4 (teplotní sezónnost), 2) BIO 15 (sezónnost srážek), 3) nadmořská výška (DEM), 4) sloučené černozemě a černice, 5) kambizemě.

Validace nejlepšího modelu (Model 9) byla provedena na konsolidovaných datech. Pokud by byla použita jen původní nálezová data (Mašín 2017) ke kalibraci a validaci, měl by model sklon k přeceňování prediktivního výkonu modelu pro nové body (Edwards et al. 2005, Franklin 2009). Proto je vhodnější ověřovat výsledný model pomocí nezávislých dat – data AOPK ČR (© AOPK ČR. 2018) a data Vohralíka a Melichara (2016). Další možnost, jak zlepšit validaci modelu, je pokračovat ve sběru a shromažďování nových dat pro následné ověření (Franklin 2009). To bylo provedeno autorem práce a byl ověřen výskyt křečka pro účely validace v roce 2018 na celkem 199 místech. Výsledný model je nazýván Validovaný Model 9.

Pro validaci (4-fold cross validation) nejlepšího modelu byla náhodně rozdělena konsolidovaná nálezová data na 4 části. Ze tří náhodných částí (75 % bodů) byl vytvořen model a zbylých 25 % bylo použito na výpočet AUC. To bylo 4 krát opakováno. Pro vzniklé 4 testovací části (25 % bodů) byla vypočítána průměrná hodnota AUC. Tím lze zjistit, jak dobře model bakalářské práce (Mašín 2017) předpovídá výskyt křečka v místech, kde v době tvorby modelu nebyla informace o výskytu.

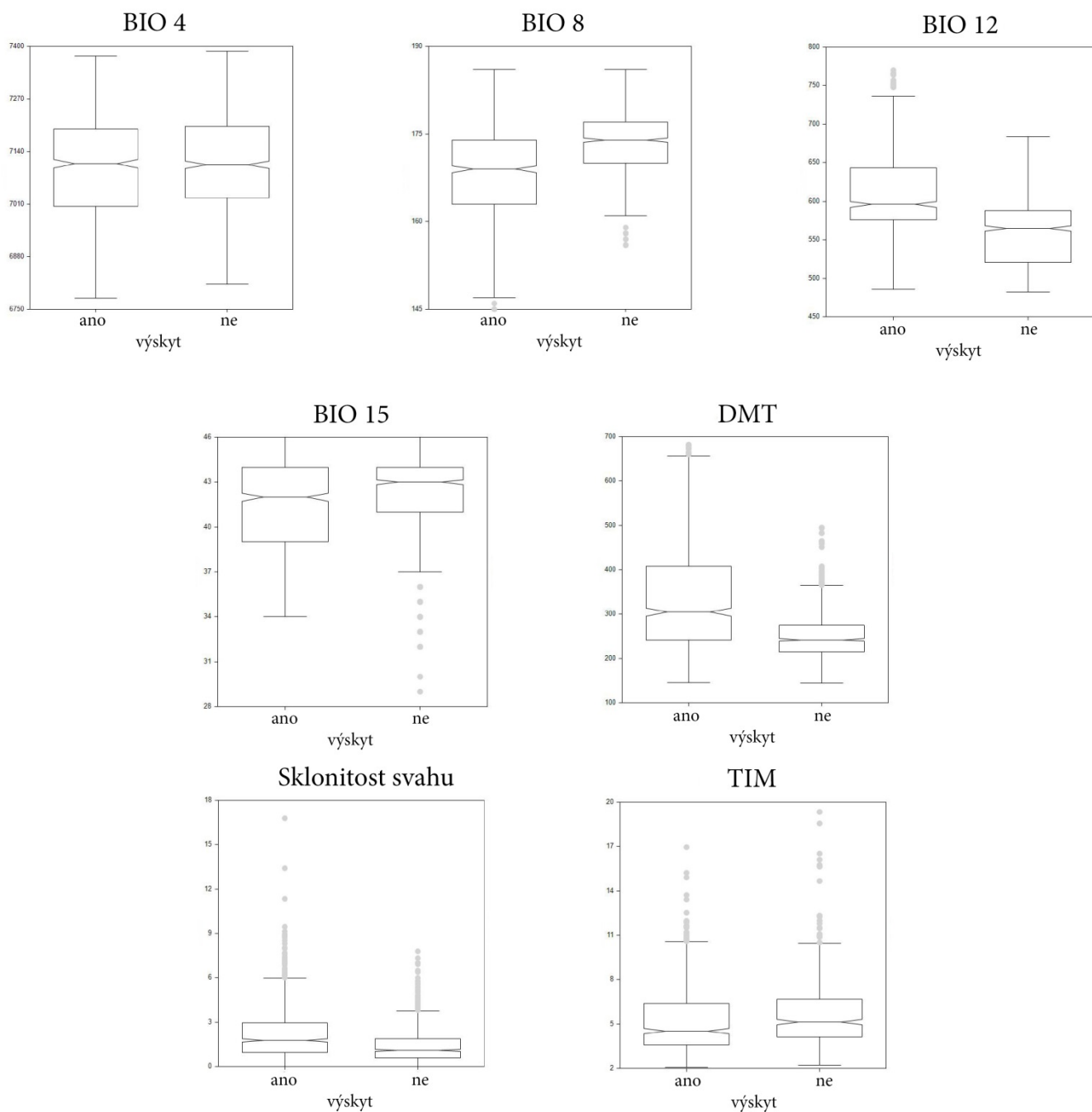
Pro validaci modelu bakalářské práce (Mašín 2017) byla spočítána hodnota AUC na základě nově shromážděných dat od AOPK ČR (© AOPK ČR. 2018), dat Vohralíka a Melichara (2016) a vlastních dat. Nově spočítaný model je nazýván Validovaný model BP (4.3 Validace modelu bakalářské práce).

4. Výsledky

4.1 Zhodnocení působení faktorů životního prostředí

Jednoduchým srovnáním dat bylo zjištěno, že i při použití 4 různých datových zdrojů (3.2 Použitá nálezová data křečků) je časové rozložení sběru dat vyrovnané. To je pro analýzy nejlepší, protože data nemohou podhodnocovat / nadhodnocovat určitý časový úsek.

Nulová hypotéza byla zamítnuta u všech zkoumaných proměnných, kromě BIO 4, ostatní průměry se liší. Byl použit t-test, který má podmínky použití velikost výběru $n > 40$ a nezávislost výběrů. Tyto podmínky data splňují, a proto byl t test použit (Příloha 2). Ve všech zkoumaných případech byla zamítnuta nulová hypotéza na statistické hladině $\alpha = 0,05$, platí tedy, že průměry se liší.



Obr. 7 Souhrnný panelový graf konsolidovaných nálezových dat. Grafy kontinuálních proměnných, kde na ose X je výskyt ano /ne (prezence /absence) (zúžení – interval spolehlivosti mediánu): klimatické faktory BIO4 – teplotní sezónnost (směrodatná odchylka $SD \cdot 100$), BIO8 – průměrná teplota nejméně chladnějšího měsíce ($t \cdot 10$), BIO12 – průměrné roční úhrny srážek (mm), BIO15 – sezónnost srážek (variační koeficient); DMT – nadmořská výška (m n. m.); sklonitost svahu (%); TIM – topografický index vlhkosti (nemá jednotky).

Při porovnání kontinuálních faktorů prostředí v místech prezenčních a absenčních bodů vyplývá, že křeček preferuje pro výskyt (Obr. 7, Příloha 2) : vyšší BIO4 – teplotní sezónnost ($t=7,117$, $p<0.05$), vyšší BIO8 – průměrná teplota nejchladnějšího měsíce ($t=17,3481$, $p<0.05$), nižší BIO12 – průměrné roční úhrny srážek ($t=560,9778$, $p<0.05$), vyšší BIO15 – sezónnost srážek (variační koeficient ukazující rozdíl srážek = $42,08527$, $p<0.05$), sklonitost svahu ($t=1,42$, $p<0.05$), TIM – Topografický index vlhkosti ($t=5,67$, $p<0.05$) , DEM – nadmořská výška ($t=252,91$, $p<0.05$).

Největší rozdíly průměrů v prezenčních a absenčních bodech jsou u (Příloha 2) : 1) DEM – prezenze 252,91 / absence 338,17; 2) sklonitost svahu – prezenze 1,42 / absence 2,22; 3) BIO12 – prezenze 560,98 / absence 608,93. Z těchto rozdílů vyplývá, že větší pravděpodobnost výskytu je v oblastech s nižší nadmořskou výškou, menšími průměrnými ročními úhrny srážek (BIO 12) a menší sklonitostí svahu.

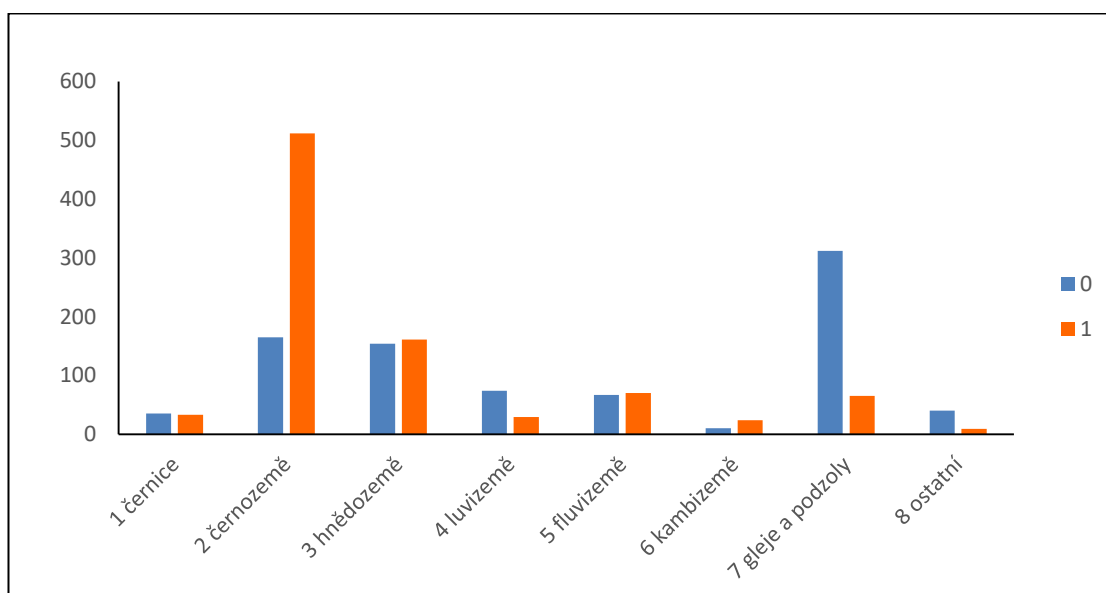
Další faktory ŽP jsou znázorněny v histogramech (Obr. 8, 9, 10, 11), kde na ose X jsou hodnoty dané proměnné a na ose Y je graf rozdělen na dvě kategorie výskytu křečka - prezenze (ano) a absence (ne).

4.1.1 Výskyt křečka podle typu půdy

Typy půdy jsou podle biologických nároků křečka velmi významné pro prezenční nálezové body. Vyskytují se v první řadě hlavně v kategorii černoze (Obr. 8), nachází se zde 512 nálezových bodů, což je 56,70 % prezenčních bodů. Všechny kategorie jsou rozepsány v tabulce (Příloha 3), kde jsou hodnoty a v další tabulce (Příloha 4), kde je procentuální vyjádření. Bodů s absencí výskytu je 165, což je 19,25 %. Celkem v kategorii černoze je situováno 677 jak prezenčních, tak i absenčních bodů, což je 38,47 % z celkového počtu bodů. Při porovnání výsledků s bakalářskou prací (Mašín 2017) je ve statistických výsledcích křečkem preferována jednoznačně kategorie černoze. Při dalším srovnání počtů bodů v různých kategoriích půd a zároveň v rozmezí nadmořské výšky vyplývá, že nejvíce bodů je na černozemi a ve výškovém pásmu do 300 m n. m.

Jako druhý velmi preferovaný půdní typ je hnědozem, kde se vyskytuje 161 nálezových bodů, což je 17,83 % prezenčních bodů (Příloha 4). Bodů s absencí výskytu je 154 (17,97 %). Celkem v kategorii hnědozemě je situováno 315 prezenčních i absenčních bodů (Příloha 3), což je 17,90 % z celkového počtu bodů. Naopak půdní

typ, kde je největší množství bodů s absencí křečka, je na glejích a podzolech. Celkem v kategorii gleje a podzoly je situováno 377 jak prezenčních i absenčních bodů, což činí 21,42 % z celkového počtu bodů. Vyskytuje se zde 65 nálezových bodů (7,20 % prezenčních bodů). Bodů s absencí výskytu je 312 (36,41 %). Z toho je zřejmé, že v kategorii gleje a podzoly je skoro 5 krát více bodů absenčních oproti prezenčním. V bakalářské práci (Mašín 2017) není tak jednoznačně preferován půdní typ černice, to bylo 6 % prezenčních bodů a 2 % absenčních. Stávající výsledky (Příloha 4) s větším rozptylem v ČR je na půdním typu černice 3,65 % bodů prezenčních a 4,08 % absenčních.

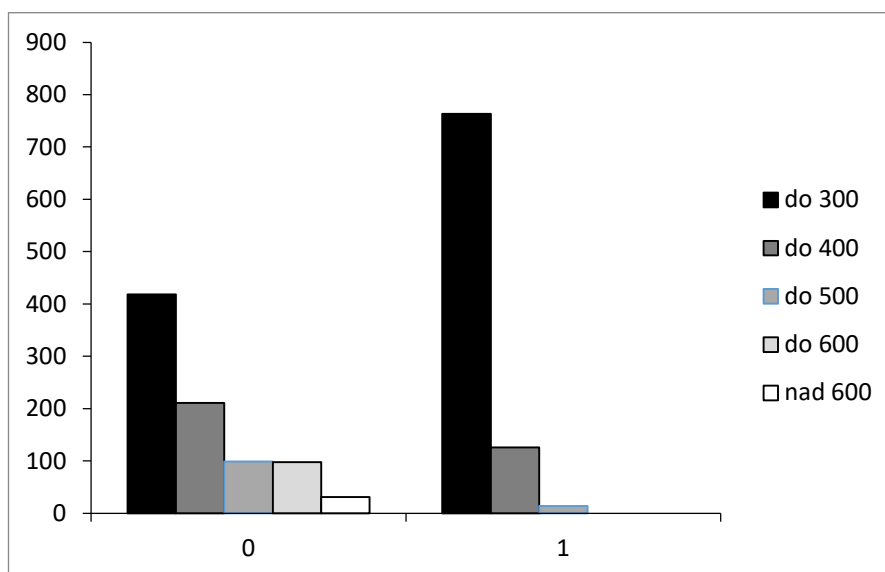


Obr. 8 Typ půdy - množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích

4.1.2 Výskyt křečka podle nadmořské výšky - výškového pásma

Jako druhý faktor významně ovlivňující výskyt křečka je nadmořská výška. Sběr všech datových sad je lokalizován mezi 144 až 682 m n. m. (Příloha 5), kde jsou hodnoty a v další tabulce (Příloha 6), kde je procentuální vyjádření. Největší množství nálezových prezenčních bodů křečka je v rozmezí 180 až 300 m n. m (Obr. 9). Pro přehlednost byla data rozdělena do kategorií.

Nejvhodnější pro výskyt křečka vyšla kategorie do 300 m n. m., vyskytuje se zde 763 nálezových bodů, což zahrnuje 84,50 % prezenčních bodů. Bodů s absencí výskytu je 418 (48,77 %). Celkem v kategorii výškového pásma do 300 metrů je situováno 1181 prezenčních i absenčních bodů, což činí 67,10 % z celkového počtu bodů.

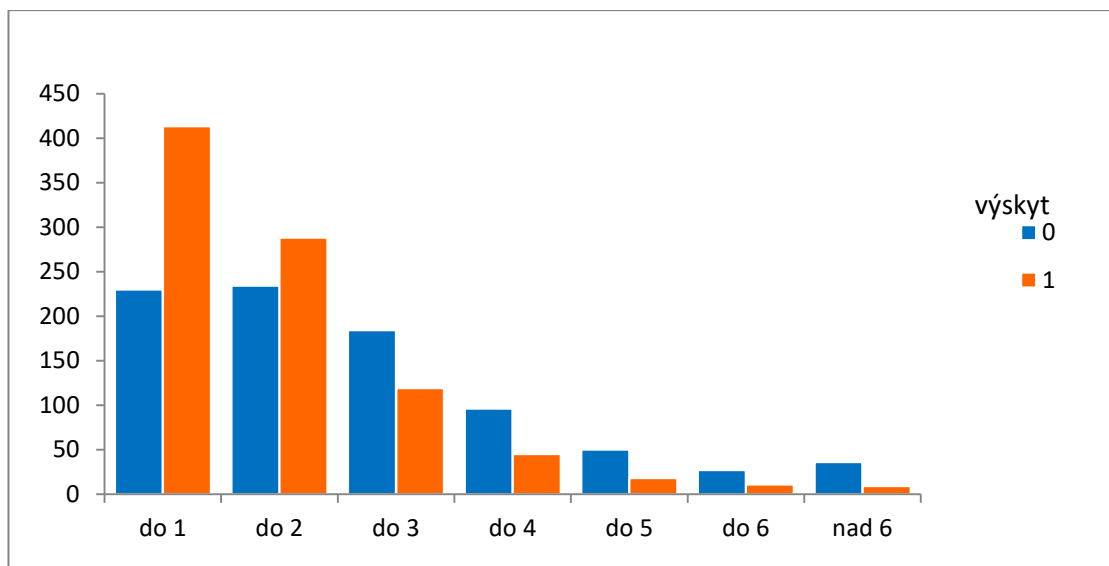


Obr. 9 Nadmořská výška - množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích

4.1.3 Výskyt křečka podle sklonitosti svahu

Největší zastoupení prezenčních bodů je v rovinných oblastech do 1 % (Obr. 10.), kde se nachází 413 bodů, což je 45,74 %. Všechny kategorie jsou rozepsány v tabulce (Příloha 7), kde jsou hodnoty a v další tabulce (Příloha 8), kde je procentuální vyjádření.

Bodů s absencí výskytu je 230, což je 26,84 %. Celkem se v kategorii sklonitosti do 1 % vyskytuje 643 prezenčních i absenčních bodů (36,53 % z celkového počtu bodů). V kategorii od 1 % do 2 % sklonitosti je prezenčních bodů 288 (31,89 %). To ukazuje, jak se stoupající skloností ubývá prezenčních bodů, v tomto případě činí úbytek okolo 14 %. Celkové rozpětí tohoto predikčního faktoru je do 43,23 %, tak jako ve validované práci (Mašín 2017).



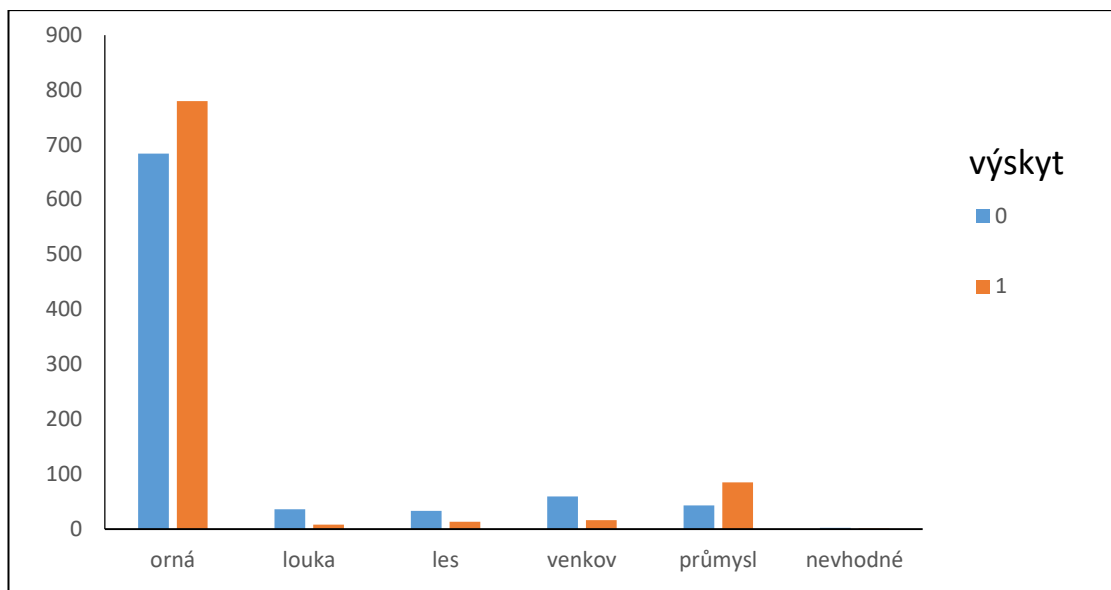
Obr. 10 Sklonitost svahu - množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích

4.1.4 Krajinový pokryv - CORINE

Křeček se vyskytuje přirozeně na stepích ve stejných zeměpisných šířkách, jako se nachází Česká republika. Zde už nezbyvá mnoho přirozených habitatů (stepí), proto přežívá v antropogenně vytvořeném biotopu – na poli. Z tohoto důvodu se faktor krajinového pokryvu CORINE jeví jako nejvíce směřodátný. Prezenční nálezové body se vyskytují z 86,36 % na orné půdě. Hodnoty jsou v tabulce (Příloha 9) a v další tabulce je procentuální vyjádření (Příloha 10). Nejvhodnější stanoviště je zemědělská orná půda s vhodnými plodinami pro nasycení a úkrytem před predací.

Predikční faktor CORINE - využití půdy (landuse) ukazuje, že na orné půdě se vyskytuje 780 nálezových bodů (Obr. 11), což zahrnuje 86,38 % prezenčních bodů. Bodů s absencí výskytu je 684 (79,81 %). Celkem je v kategorii orná půda situováno 1464 jak prezenčních, tak i absenčních bodů (83,18 % z celkového počtu bodů), proto je faktor krajinového pokryvu – půdy vhodný predikční faktor.

Jako druhý predikční faktor krajinového pokryvu (CORINE) je kategorie – průmysl. Procentuální zastoupení bodů výskytu jen v kategorii průmysl je 85 prezenčních, což je 9,41 % bodů s výskytem křečka (Příloha 10), je to druhá největší kategorie hned po orné půdě. Bodů s absencí výskytu je 43 (5,02 % bodů), kde se křeček nevyskytuje. Celkem kategorie průmysl obsahuje 128 bodů (7,27 %).



Obr. 11 Krajinný pokryv (CORINE) - počet absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

4.2 Porovnání habitatových modelů

Bylo vytvořeno celkem 12 habitatových modelů (Tab. 3) s různými faktory ŽP (Tab. 4) pro všechna nálezová data. Jednotlivé části konsolidovaných dat jsou popsány v kapitole 3.2 Použitá nálezová data křečků. Hodnocení nejlepšího modelu proběhlo v první řadě podle: 1) hodnoty AUC; 2) podle hodnoty AIC; 3) podle hodnoty R^2 .

Podle těchto kritérií byly vybrány 3 nejlepší modely: Model 1, 8 a 9.

Jako nejlepší habitatový model vyšel Model 9 (Tab. 3), kde se hodnota $AUC = 0,83109$, hodnota $AIC = 1769,4$ a $R^2 = 0,3342$, což znamená, že model dokáže vysvětlit 33,42 % celkové variability. V tomto nejlepším modelu bylo použito 7 faktorů: BIO 4, BIO 12, BIO 15, DEM, černoze, gleje a podzoly, sklonitost. Model 9 je nejlepší, protože vysvětluje o 0,16 % více celkové variability (vyšší R^2) oproti Modelu 1. Jako druhý nejlepší podle AUC je Model 1, který má $AUC = 0,8306$. Jako třetí nejlepší je klasifikován Model 8, který má hodnotu $AUC = 0,8258$.

Model 9, jako nejlepší model s konsolidovanými nálezovými daty, byl ověřen křížovou validací (4-fold cross-validation). Konsolidovaná data byla 4 krát náhodně rozdělena na 4 části. Z každého rozdělení byly 3 části (75 % bodů) použity pro tvorbu modelu a zbylých 25 % použito na výpočet AUC. Byla vypočítána průměrná hodnota AUC ze 4 testovacích částí (25 % bodů) a zjištěno křížovou validací $AUC = 0,7546$, dále nazýván jako Validovaný Model 9 (Tab. 3).

Tab. 3 Srovnání všech modelů podle AUC, AIC, R²

Název modelu	Hodnota AUC	Hodnota AIC	Hodnota R ²
Model 1	0,8306	1776,2	0,3326
Model 2	0,7861	1942,8	0,2506
Model 3	0,7386	2042,8	0,2026
Model 4	0,7233	2071,0	0,1858
Model 5	0,7099	2151,2	0,1484
Model 6	0,8091	1140,6	0,2926
Model 7	0,8186	1822,2	0,3130
Model 8	0,8258	1104,4	0,3196
Model 9	0,8310	1769,4	0,3342
Model 10	0,8222	1776,2	0,3156
Validovaný Model 9	0,7546	_____	_____
Validovaný model BP	0,7581	1782,6	0,2784
Model z bakalářské práce (Mašín 2017)	_____	643,111	0,2714

Tab. 4 Predikční vrstvy jednotlivých habitatových modelů. Použité zkratky: Č – černozem, H – hnědozem, G – gleje a podzoly, K – kambizem, o – orná půda v CORINE, p – průmysl v CORINE

Název modelu	Typ půdy	Faktory životního prostředí						
		BIO4	BIO12	BIO15	CORINE	DEM	Sklonitost svahu	TIM
Model 1	Č, H	✓	✓	✓		✓	✓	
Model 2	Č			✓		✓	✓	
Model 3				✓	✓ (o+p)	✓	✓	
Model 4				✓		✓	✓	
Model 5				✓	✓ (o)	✓	✓	
Model 6		✓	✓	✓	✓ (o+p)	✓	✓	✓
Model 7		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Model 8	Č, G	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Model 9	Č, G	✓	✓	✓		✓	✓	
Model 10	Č, K	✓	✓	✓		✓		

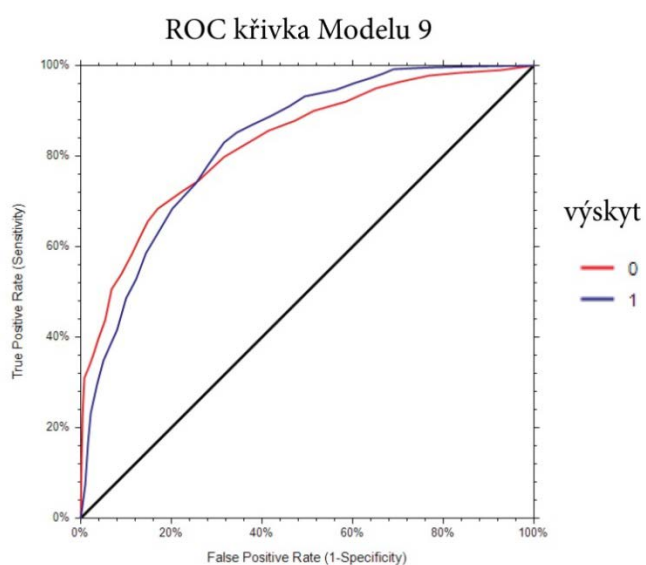
Model 9

Regresní koeficient – $R^2 = 0,33429$ na statistické hladině významnosti $\alpha=0,01$.

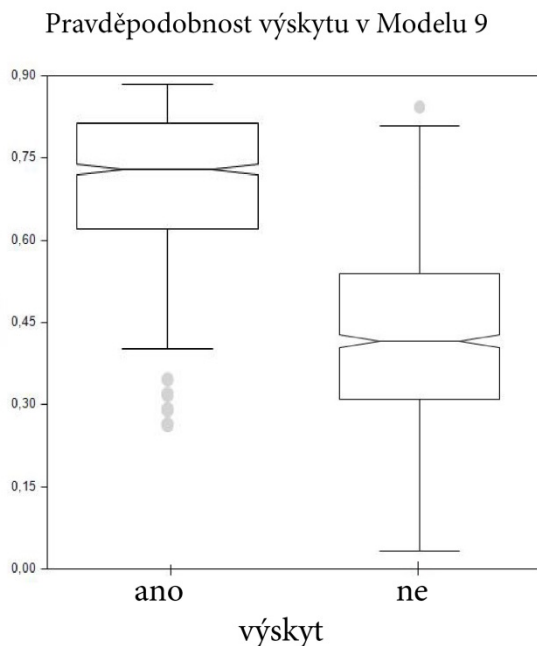
Tab. 5 Výsledky logistické regrese Modelu 9

Nezávislá proměnná	Regresní koeficient
Intercept	49,56221
Bio12	-0,01332
Bio15	-0,10997
Bio4	-0,00481
DEM	-0,00959
černozem	0,75171
gleje a podzoly	-0,92714
sklonitost svahu	-0,17670

Area Under ROC Curve = 0,83109

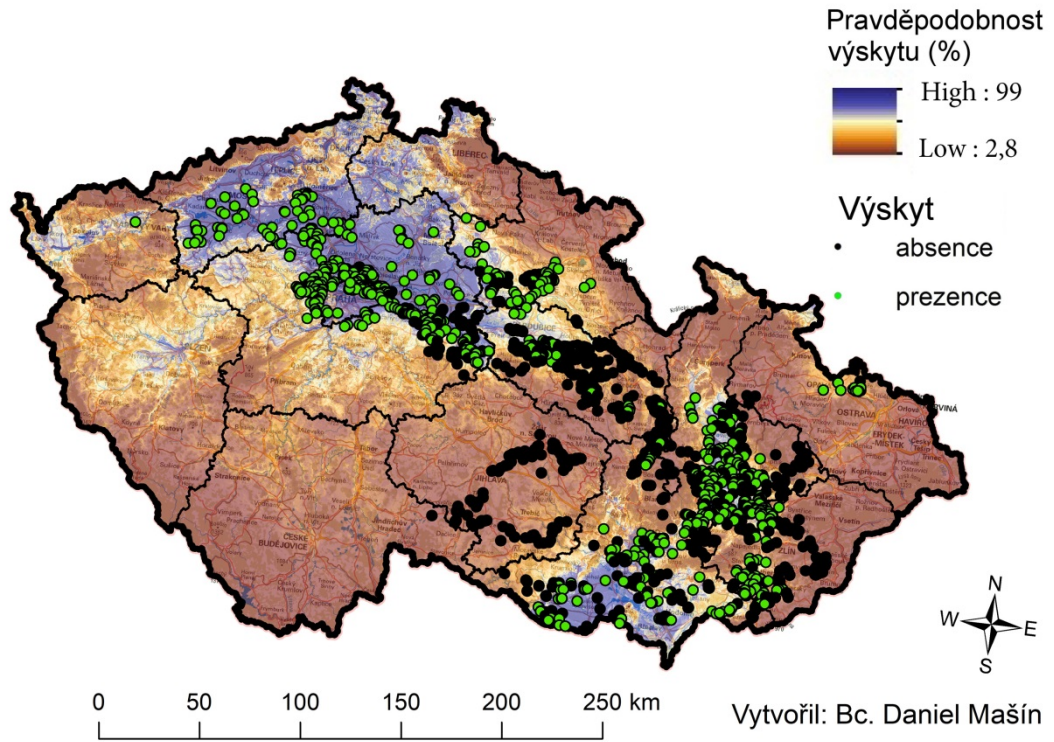


Obr. 12 ROC křivka logistické regrese Modelu 9.

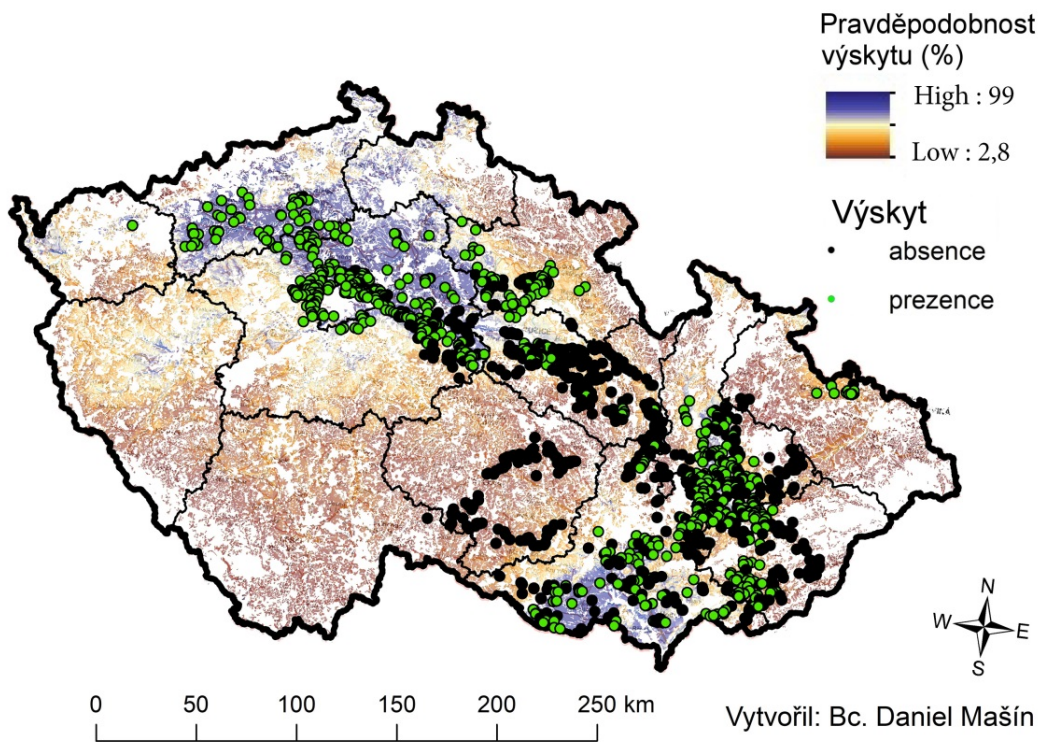


Obr. 13 Boxplot znázorňující, zda Model 9 předpovídá vyšší pravděpodobnosti výskytu pro nově sesbíraná data ukazující prezenci (ANO) 1) data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018); 2) data Vohralíka a Melichara (2016); 3) vlastní nálezová data; než v bodech, kde nová data ukazují absenci (NE)

Model 9 (Obr. 14) predikuje výskyt především v oblasti Čech, celou Labskou nížinu, okolí řeky Ohře a na Podkrušnohorských pánvích, na severu níže položené oblasti ve Šluknovském i Frýdlantském výběžku a možný výskyt na Jizerské tabuli. Na jihu je predikována oblast v okolí Plzně a v oblasti soutoku Vltavy a Sázavy. V jižních Čechách model prezenci nepredikuje. V oblasti Moravy je předpověď prezenčních bodů především v Moravských úvalech. Velká souvislá plocha predikce je v oblasti Dyjsko – Svrateckého úvalu, který není tolik prozkoumán jako Hornomoravský úval. V severní části Moravy je predikována oblast v okolí Města Albrechtice a obce Javorník směrem k polským nížinám. Ve Slezsku není predikována souvislejší oblast s více než 50% pravděpodobností. Druhá mapa Modelu 9 (Obr. 15) ukazuje habitatový model jen na krajinném pokryvu vyhovujícím pro výskyt křečka, kategorie orná půda a louky (louky, sady, vinice).



Obr. 14 Model 9 – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, v podkladu automapa (Geoportal.gov. 2010)

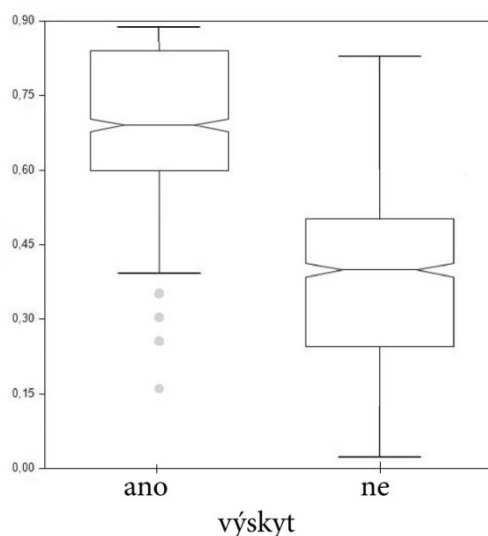


Obr. 15 Model 9 – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, jen na orné půdě a sloučené kategorii luk (louky, sady, vinice)

4.3 Validace modelu bakalářské práce

Výpočtem nového Validovaného modelu BP proběhlo ověření původního modelu z bakalářské práce (Mašín 2017) s původními 5 faktory: 1) BIO 4 (teplotní sezónnost), 2) BIO 15 (sezónnost srážek), 3) nadmořská výška (DEM), 4) sloučené černoze a černice, 5) kambizemě. Pro Validovaný model BP byla spočítána hodnota AUC (Obr. 17) na základě nově shromážděných dat od AOPK ČR (© AOPK ČR. 2018), dat Vohralíka a Melichara (2016) a vlastních dat.

Pravděpodobnost výskytu ve Validovaném modelu BP



Obr. 16 Boxplot znázorňující, zda Validovaný model BP předpovídá vyšší pravděpodobnosti výskytu pro nově sesbíraná data ukazující prezenci (ANO) 1) data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018); 2) data Vohralíka a Melichara (2016); 3) vlastní nálezová data; než v bodech, kde nová data ukazují absenci (NE)

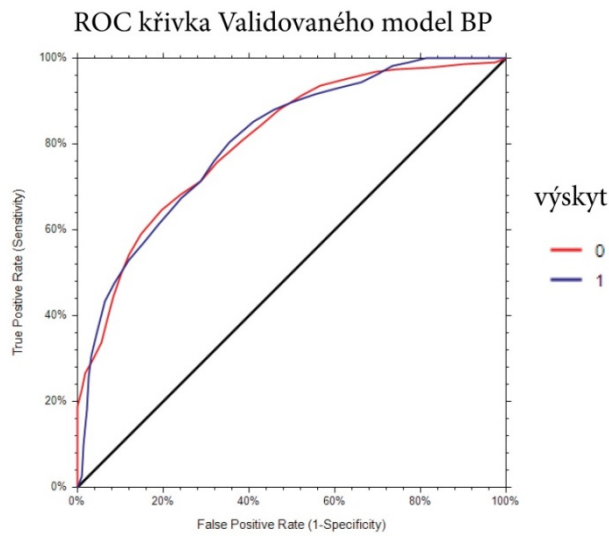
Validovaný model BP

Regresní koeficient – $R^2 = 0,2784$ na statistické hladině významnosti $\alpha=0,01$.

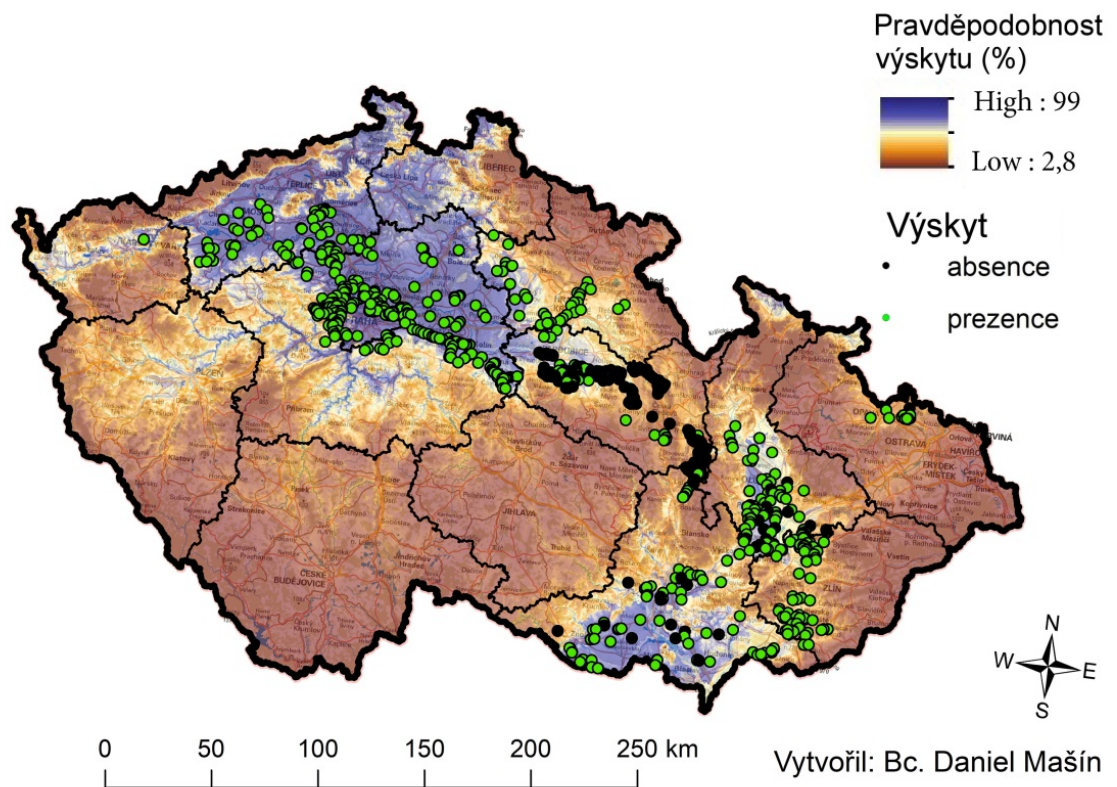
Tab. 6 Výsledky logistické regrese Validovaného modelu BP

Nezávislá proměnná	Regresní koeficient
Intercept	60,31893
BIO4	-0,00772
DEM	-0,01502
kambizemě	1,30983
černoze a černice	1,13918
BIO15	-0,03746

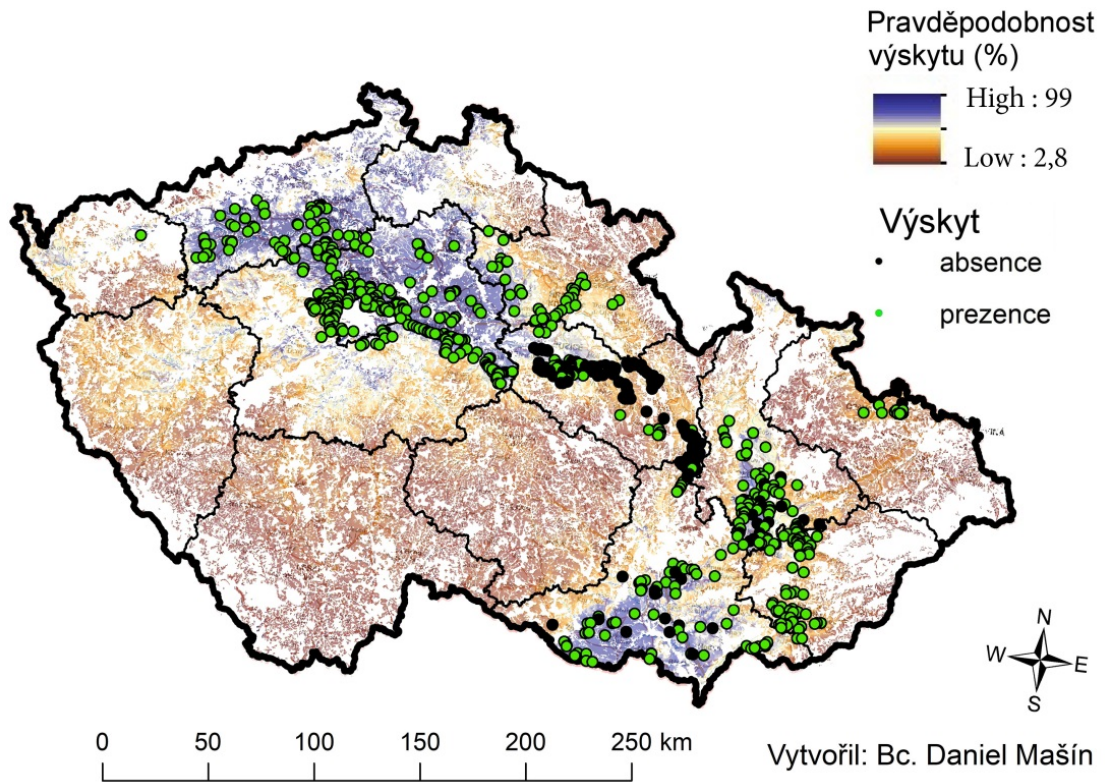
Area Under ROC Curve = 0,75812



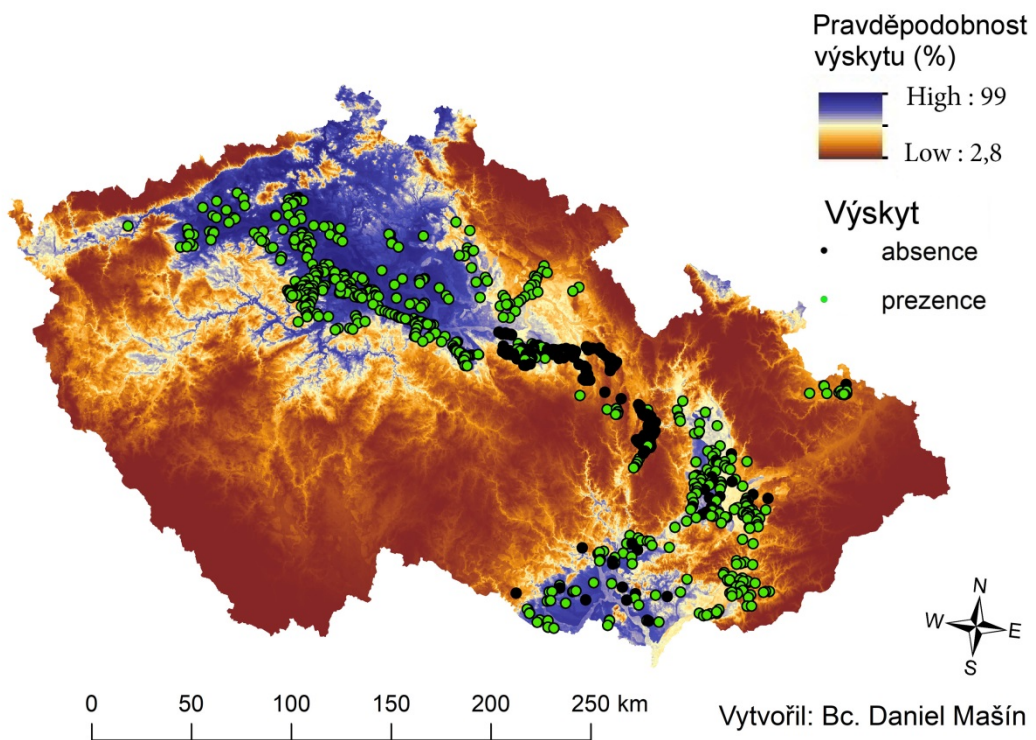
Obr. 17 ROC křivka logistické regrese Validovaného modelu BP



Obr. 18 Validovaný model BP – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, faktory ŽP stejné jako v bakalářské práci (Mašín 2017), ale jen s daty AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), daty Vohralíka a Melichara (2016), vlastní nálezová data, v podkladu automapa (Geoportal.gov. 2010)



Obr. 19 Validovaný model BP – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice, jen na orné půdě a sloučené kategorii luk (louky, sady, vinice).



Obr. 20 Validovaný model BP – Habitatový model pravděpodobnosti výskytu křečka polního v České republice.

5. Diskuse

Hlavní příčiny poklesu početnosti křečka polního a celkově druhové rozmanitosti v zemědělské krajině jsou rychlé změny zemědělských postupů (Klatty et al. 2019), a s tím spojené práce prováděné v krátkém časovém horizontu a především velkoplošně, velkou zemědělskou technikou. V dnešní době křeček přežívá hlavně na člověkem vytvořených a obhospodařovaných biotopech (pole a louky). Při porovnání nálezových lokalit s prezencí křečka v letech 1975 (Grulich) s prezenčními lokalitami po roce 2000 (Tkadlec et al. 2012) je zřejmé, že výskyt křečka je v ČR výrazně nižší. Křečci ustupují na optimální stanoviště, což je v ČR do nížin, kde je zároveň hlubší půda.

5.1 Habitatové preference křečka v číslech

Podle Reiners et al. (2011) lze pomocí statistických modelů vysvětlit výskyt křečka kromě vlastností půdy i dle klimatických proměnných a složení krajiny. Podle výsledků se křeček vyskytuje hlavně v kategorii černozem (Příloha 4), je zde 56,70 % prezenčních bodů. Druhý preferovaný půdní typ je hnědozem, kde je 17,83 % prezenčních bodů. Jako třetí půdní typ je černice, ale oproti bakalářské práci (Mašín 2017) není tolik upřednostňována. V bakalářské práci (Mašín 2017) bylo 6 % prezenčních bodů a 2 % absenčních. Stávající výsledky pro mnohem větší soubor dat s větším rozptylem po ČR jsou pro půdní typ černice 3,65 % bodů prezenčních a 4,08 % absenčních (Příloha 4). Proto se lze domnívat, že černice nemusí být tak významný faktor jak uvádí Mašín (2017), jelikož výskyt křečka není ovlivňován jen typem půdy, ale také lidskými činnostmi, jako je např. orba. Z výsledků je zřejmé, že křeček nepreferuje lokality na glejích a podzolech, protože je zde 36,41 % bodů s absencí výskytu oproti 7,20 % prezenčních bodů. Lze to vysvětlit biologickými nároky křečka, potřebuje si hrabat podzemní nory pro úkryt. Gleje a podzoly se totiž vyskytují na podmáčených místech, a to nejčastěji v okolí řek, potoků a především mokřadů, kde je vysoká hladina spodní vody.

Pro přítomnost křečků v dané lokalitě jsou důležité jak vyhovující půdní podmínky pro hrabání nor, tak vyhovující klimatické podmínky. I když se těžiště výskytu nachází v nejteplejších klimatických oblastech ČR, nemusí být pouze klima

jednoznačným faktorem určujícím rozšíření křečka (Matějů et Větrovcová 2015). Pro rozšíření křečka je podle Grulich (1977) limitující roční izoterma 7°C . Z výsledků vychází (Příloha 2), že křeček preferuje vyšší BIO4 – teplotní sezónnost $7,117^{\circ}\text{C}$ při srovnání s bakalářskou prací (Mašín 2017), kde bylo BIO4 = $6,5854^{\circ}\text{C}$. Nově spočítané preference křečka ukazují na vyšší BIO8 – průměrná teplota nejchladnějšího měsíce $1,73481^{\circ}\text{C}$ oproti bakalářské práci (Mašín 2017) kde vyšlo BIO8 = $1,39663^{\circ}\text{C}$. Zvýšení preferované BIO4 i BIO8 lze vysvětlit větším množstvím nálezových dat v Polabí nalezených především Vohralíkem a Melicharem (2016). Podle výzkumu Reiners et al. (2011) je preferovaná roční průměrná teplota $9,7^{\circ}\text{C}$. To ukazuje, že křeček upřednostňuje oblasti s teplejšími klimatickými podmínkami. Podle Vohralíka a Melichara (2016) jsou prezenční nálezy v teplé klimatické oblasti T2.

Ze studií Reiners et al. (2011) a Mašín (2017) vychází, že jsou křečkem preferovány nejen teplejší klimatické podmínky, ale i oblasti s nižšími ročními srážkovými úhrny. Nově spočítané preference křečka ukazují na nižší BIO12 – průměrné roční úhrny srážek $560,9778$ mm oproti bakalářské práci (Mašín 2017), kde vyšlo BIO12 = $571,8$ mm a podle německé studie (Reiners et al. 2011) křeček preferuje průměrné roční úhrny srážek 628 mm. To by mohlo znamenat, že výskyt křečka v ČR není tímto faktorem ŽP tolik ovlivňován a může se vyskytovat i v oblastech s vyššími průměrnými ročními úhrny srážek, které uvádí Reiners et al. (2011). Při porovnání stávajících výsledků BIO15 – sezónnost srážek (variační koeficient ukazující rozdíl srážek) vyšlo BIO 15 = $42,08527$ oproti bakalářské práci (Mašín 2017), kde vyšlo BIO15 = $42,58$ tedy se výrazně neliší.

Pro prezenční body činí průměrná preferovaná nadmořská výška (DEM) $252,91$ m n. m., vyjádřeno v procentech je $84,5$ % prezenčních bodů v kategorii do 300 m n. m. Vohralík a Melichar (2016) v současnosti udávají výskyt na území Čech především z poloh do 400 m n. m., dříve byl však výskyt znám i z poloh těsně pod 600 m n. m (Anděra et Beneš 2001). To značí, jak je nadmořská výška provázána s půdními typy, protože nejpreferovanější půdní typy jsou také situované v níže položených oblastech ČR. To potvrzují i studie Reiners et al. (2011) a Mašín (2017). Zároveň to jsou oblasti se sklonitostí do 1 %, kde je největší výskyt prezenčních bodů ($45,74$ %). Průměrná sklonitost svahu pro prezenční body vyšla $1,42$ %. Je zřejmé, že křeček preferuje ještě nižší sklonitost svahu než v bakalářské práci (Mašín 2017), kde vyšla $1,441$ %. Nejedná se sice o velký rozdíl, ale s velkou pravděpodobností bude způsoben navýšením

množství dat od Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016) především okolo řeky Labe. Křeček žije v ČR především v rovinných územích, což může být způsobeno i spojeným výskytem v menší nadmořské výšce a preferovaným typem půdy.

Souhrnně řečeno, aby křeček mohl vůbec na nějaké lokalitě být, tak místo musí splňovat základní charakteristiky jako je bezlesí, vhodné podmínky pro hloubení nor a také dostatek rozmanitých ploch pro sběr potravy. Proto je důležitý predikční faktor ukazující využití půdy – CORINE. Jednoznačně nejvíce prezenčních bodů je na orné půdě (86,36 %) (Příloha 10) ve srovnání s bakalářskou prací (Mašín 2017), kde bylo na orné půdě 89,7 %. V německé studii Reiners et al. (2011) je také nejvíce zastoupená kategorie orná půda (z 69,2 %). Křeček tedy jednoznačně preferuje pole.

Druhá nejvhodnější kategorie je průmysl s 9,41 % prezenčních bodů (Příloha 10), podle Reiners et al. (2011) je v kategorii město 18,1 % prezenčních bodů. Toto porovnání je velmi nepřesné, protože zde lze zařadit různé okrajové oblasti měst, případně silnic a další diskutovatelné oblasti jako jsou třeba výrobní areály. Výsledky studií (Reiners et al. 2011, Mašín 2017) ukazují, že kategorie krajinného pokryvu – průmysl je něčím pro křečka vhodná, nebo naopak nebezpečná, protože po detailním zkoumání příčin byl odvozen závěr na základě přesné lokalizace bodů a byla zjištěna souvislost se zaznamenanými body s poznámkou o mrtvém / přejetém křečkovi na silnici. Proto je pro predikci vhodné používat jen kategorii orné půdy. Při detailním pohledu na prediktivní mapu mohou modely ukazovat vhodné dokonce i antropogenní stanoviště (Tab. 4 – Model 3 a 6), například okraje měst. To je způsobeno tím, že křeček se vyskytuje i poblíž zástavby a především pozemků, kde se několik let intenzivně zemědělsky nehopodaří, tudíž tam, kde jsou pozemky v územním plánu určené v několika příštích letech pro novou výstavbu. Taková populace křečků vyskytující se na okraji města je přizpůsobena blízkosti člověka zvýšenou pohybovou aktivitou a vyšší opatrností (Hędrzak et al. 2018).

5.2 Hodnocení výsledných habitatových modelů

Nejprve bylo vybráno 10 nejlepších habitatových modelů (Tab. 3) s různými faktory ovlivňujícími výskyt křečka (Tab. 4), kde byla použita konsolidovaná nálezořová data (prezenční i absenční). Jako nejlepší habitatový model byl vypočítán Model 9 (Tab. 3), kde vyšla hodnota $AUC = 0,83109$, což je nejlepší hodnota ze všech vytvořených modelů. Podle hodnoty $AIC = 1769,4$ je čtvrtý nejlepší. Podle koeficientu determinace

je nejlepší ze všech modelů ($R^2 = 0,3342$), což znamená, že Model 9 dokáže vysvětlit 33,42 % celkové variability. Kontrola proběhla křížovou validací (4-fold cross-validation), průměrná hodnota AUC ze 4 testovacích částí po $\frac{1}{4}$ celkových bodů vyšla 0,7546. To ukazuje, že Validovaný model 9 je najednou podle AUC až devátý (Tab. 3). V tomto nejlepším modelu bylo použito 7 faktorů: BIO 4, BIO 12, BIO 15, DEM, černoze, gleje a podzoly, sklonitost. Model 9 vysvětluje o 0,16 % více celkové variability (vyšší R^2) oproti Modelu 1.

Jako druhý nejlepší podle AUC je Model 1 (Tab. 3), který má AUC = 0,8306, ale je podle AIC až na čtvrtém místě (AIC = 1776,2). R^2 u tohoto modelu vyšlo 0,3326, je tedy druhý nejlepší. R^2 tedy dokáže vysvětlit 33,26 % celkové variability. Tento model používá také 7 faktorů: BIO 4, BIO 12, BIO 15, DEM, černoze, hnědozem, sklonitost. Je tedy odlišný od nejlepšího modelu (Model 9) pouze záměnou faktorů – gleje a podzoly s faktorem – hnědozem. Oba tyto půdní typy jsou pro výskyt, respektive nevýskyt, křečka důležité z pohledu predikce, protože z aktuálních průzkumů vyplývá, že se ani na jednom křeček nevyskytuje.

Jako třetí nejlepší je klasifikován Model 8 (Tab. 3), který má hodnotu AUC = 0,8258 a podle AIC je ze všech nově vypočítaných modelů nejlepší (AIC = 1104,4). Při porovnání Modelu 8 s původním modelem bakalářské práce (Mašín 2017), kde vyšlo AIC = 643,111, je stále model bakalářské práce (Mašín 2017) podle AIC nejlepší. Pro Model 8 vyšel $R^2 = 0,3130$, model tedy dokáže vysvětlit 31,30 % celkové variability. V tomto faktoru je až čtvrtý, ale jen o tři tisíce oproti Modelu 10. Ten podle dalších faktorů není mezi nejlepšími třemi, ale stále Model 10 vysvětluje velké množství celkové variability oproti zbývajícím modelům. Při porovnání s modely (Tab. 3), které vysvětlují nejmenší množství celkové variability, což je 14,83 % (Model 5) a 18,58 % (Model 4), tak u nejlepších modelů (Modely 1, 7, 8, 9, 10) je vysvětlení přes 30 % celkové variability výborné (Tab. 3).

Ze srovnání na základě vizuální kontroly (Příloha 16) 3 nejlepších vytvořených modelů (Model 1, 8 a 9) je patrné, že oblasti, kde modely predikují výskyt, jsou podobné a s těmito 3 modely je podobný i Validovaný model BP. Všechny 4 habitatové modely nejvíce ukazují na oblasti nížin. V Čechách to je největší celistvé území především v okolí řeky Labe, na Moravě především v Dyjsko – Svrateckém úvalu a Hornomoravském úvalu. Model 8 a 9 ukazují oproti Modelu 1 a Validovanému modelu BP na nížinné oblasti v okolí Plzně, zato jen Validovaný model BP (Obr. 18)

předpovídá výskyt v okolí Berounky. V okolí řeky je však hodně lesů, které nejsou vhodné pro výskyt křečka. Validovaný model BP je odlišný v predikci prevalence okolo soutoku Vltavy a Sázavy. Všechny tyto modely (Příloha 16) predikují i oblasti v okolí řeky Ohře a okolí Žatce. Dále oblasti svažující se k nížinám v Německu v oblasti Frýdlantského a Šluknovského výběžku predikují tyto 4 modely také jako oblast možného výskytu i přes to, že zde nejsou žádná data o prezenci či absenci výskytu pravděpodobně kvůli odlehlosti území. Na Moravě je predikováno všemi 4 modely také odlehlé území v oblasti výběžku ČR do Polska v okolí města Javorník (Příloha 16). Žádný z těchto 4 nejlepších modelů nemá zahrnuté v rovnici faktory krajinného pokryvu (CORINE) (Tab. 4), proto nepředpovídají tak velkou prezenci v oblasti okolo řeky Odry a měst Ostravy a Opavy. Tyto oblasti se sice nachází v nížině, ale je zde velmi hustá zástavba a doly. Křeček by se zde mohl vyskytovat, ale jen v okrajové části. Z centra tohoto území je vytlačen lidskou aktivitou.

5.3 Zhodnocení validovaného modelu bakalářské práce

Validovaný model BP (Obr. 18) byl vypočítán na základě nově shromážděných dat od AOPK ČR (© AOPK ČR. 2018), dat Vohralíka a Melichara (2016) a vlastních dat. Data prof. Tkadlece nebyla pro validaci použita. Pro validaci původního modelu je nejlepší pokračovat buď ve sběru dat, nebo shromáždit nová nálezová data pro následné ověření (Franklin 2009). Faktory ŽP byly shodné jako v bakalářské práci (Mašín 2017).

Validovaný model BP má hodnotu $AUC = 0,75812$ a $R^2 = 0,2784$ (Tab. 3), což znamená, že model dokáže vysvětlit 27,84 % celkové variability. Výsledné hodnoty modelu vytvořeného v bakalářské práci (Mašín 2017), kde bylo $R^2 = 0,2714$, vysvětlují 27,14 % celkové variability. Validovaný model BP vysvětluje celkovou variabilitu o 0,70 % lépe než model v bakalářské práci (Mašín 2017). Nejpravděpodobnější je, že Validovaný model BP dokáže vysvětlit větší množství celkové variability, protože z celkového počtu 2 051 bodů je 903 prezenčních. Oproti tomu v bakalářské práci (Mašín 2017) byl model počítán pro 180 prezenčních bodů z 1 192 bodů.

Na základě většího množství dat v Čechách (Příloha 12, 13 a 14) je i predikční oblast Validovaného modelu BP v této oblasti rozsáhlejší (Příloha 16) oproti modelu bakalářské práce (Mašín 2017), především v Podkrušnohoří, ve Šluknovském a Frýdlantském výběžku a také v okolí řeky Berounky a soutoku Vltavy a Sázavy. Velký rozdíl oproti modelu bakalářské práce (Mašín 2017) je, že Validovaný model BP

už nezobrazuje více než 50% prezenci v oblasti Moravské brány (Obr. 20) směrem k Ostravě a v jejím okolí. Predikce je nově jen v menší míře okolo řeky Odry, města Opavy a výběžků ČR do Polska u města Jeseník.

6. Shrnutí

Křeček polní zaznamenal od 70. let minulého století 74% pokles ve všech evropských zemích, ve Francii dokonce poklesl od roku 1972 o 94 % (Kletty et al. 2019; O'Brien 2015; Surov et al. 2016). V České republice je oproti výskytu na většině území v 70. letech minulého století (Grulich 1975) v současnosti už jen v centrální oblasti v prostoru Labské nížiny a Moravských úvalů (Tkadlec et al. 2012, Vohralík et Melichar 2019).

Hlavním cílem bylo na základě konsolidovaných dat z různých zdrojů: 1) data prof. Tkadlece, 2) data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), 3) data Vohralíka a Melichara (2016) a vlastní nálezová data, vytvořit habitatové modely pro křečka polního metodou SDM (species distribution modelling). Na analýzu dat byla použita mnohorozměrná analýza (logistická regrese). Do logistického modelu byly použity signifikantní faktory ŽP testované v předchozích t-testech. Následně byly zkonstruovány statistické modely použité pro predikci křečka v celé ČR.

Výskyt křečka je v ČR především v prostoru nižších nadmořských výšek zpravidla do 300 m n. m. (Tkadlec et al. 2012, Vohralík et Melichar 2019). Tato skutečnost je potvrzena, 84,5 % konsolidovaných nálezových bodů je v nadmořské výšce do 300 m n. m. Křeček přežívá především v nížinách se soudržnými těžšími půdami s půdním horizontem hlubším více než 1 m (Grulich 1977). Výsledky prokazují výskyt především v kategorii černozem, vyskytuje se zde 512 prezenčních bodů (56,70 %). Jako druhý velmi preferovaný půdní typ je hnědozem, kde se vyskytuje 161 prezenčních bodů (17,83 %). Naopak půdní typ, kde je největší množství bodů s absencí křečka, je na glejích a podzolech. Bodů s absencí výskytu je 312 (36,41 %). I podle Grulicha (1977) křeček nepreferuje podmáčené půdy, mělké půdy do 1 m hloubky a hlinito písčité půdy, které jsou málo soudržné, kde je problematické pro křečky hrabat podzemní nory.

Jako nejlepší habitatový model s konsolidovanými daty vyšel Model 9, který dokázal vysvětlit 33,42 % celkové variability. Model 9 byl ověřen křížovou validací (4-fold cross-validation), průměrná hodnota AUC = 0,7546. V tomto nejlepším modelu bylo použito 7 faktorů: BIO 4, BIO 12, BIO 15, DEM, černozem, gleje

a podzoly, sklonitost. Model 9 vysvětluje o 6,28 % více celkové variability, ve srovnání s modelem z bakalářské práce (Mašín 2017), který dokázal vysvětlit 27,14 % celkové variability. Ve srovnání s Validovaným modelem BP, který vysvětluje 27,84 % celkové variability, se jedná o rozdíl jen o 0,70 %. Nejlepší model vychází podle AUC a R^2 , když je k dispozici co největší množství dat a je provzorkována co největší plocha ČR. Podle indexu AIC je stále model bakalářské práce (Mašín 2017) nejlepší (AIC = 643,111).

7. Zdroje

- Anděl J. 2007. Základy matematické statistiky. Druhé opravené vydání. Matfyzpress, Praha. ISBN 80-7378-001-1.
- Anděra M, Beneš B. 2001. Atlas rozšíření savců v České republice – Předběžná verze IV. Hlodavci (Rodentia) – část 1. Křečkovití (Cricetidae), hrabošovité (Microtidae), plchovití (Gliridae). Národní muzeum, Praha, 156 pp.
- Araújo MB, Anderson RP, Barbosa AM, Beale CM, Dormann CF, Early R, Garcia RA, Guisan A, Maiorano L, Naimi B, O'Hara RB, Zimmermann NE, Rahbek C. 2019. Standards for distribution models in biodiversity assessments. *Science advances*.
- ARCDATA PRAHA, s.r.o. 2017. Digitální vektorová geografická databáze České republiky ArcČR® 500 [online]. [cit. 2016-09-11]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500>
- © AOPK ČR. 2018. Nálezová databáze ochrany přírody. [on-line databáze; portal.nature.cz]. 2018–12–11. [cit. 2018–12–11]
- Banaszek A, Jadwiszczak KA, Ratkiewicz M et al. 2010: Population structure, colonization processes and barriers for dispersal in the common hamster *Cricetus cricetus* (L.) populations in Poland. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 48: 151–158.
- Banaszek A, Ziomek, J. 2011. The common hamster, *Cricetus cricetus* (L.) populations in the Lower San River Valley. *Zoologica Poloniae*, 56, 49–58.
- Benton TG, Vickery JA, Wilson JD. 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18, 182–8.

© Česká geologická služba (ČGS). 2017. Mapa půd ČR [online]. [cit. 2016-10-16].

Dostupné z: <http://micka.geology.cz/records/500e7063-e828-4e82-b533-91c80a010817?language=cze>

de Candolle A. 1855. *Géographie botanique raisonnée*. Paris: V. Masson

Copernicus Land Monitoring Service. 2016. CORINE (Coordination of information on the Environment). [online]. [cit. 2016-10-12]. Dostupné z: <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>

Elith J, Leathwick JR. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time, *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 677–697.

Esfahani MT. *Predictive Vegetation Modelling: Comparison of Methods, Effect of Sampling Design and Application on Different Scales*. Jena, 2008. Disertační práce. Harmazeutischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Edwards TCJr, Cutler DR, Zimmermann NE, Geiser L, Alegria J. 2005. Model-based stratifications for enhancing the detection of rare ecological events. *Ecology*, 86, 1081–1090.

Feoktistova NY, Meschersky IG, Bogomolov PL, Sayan AS, Poplavskaya NS, Surov AV. 2017. Phylogeographic structure of the Common hamster (*Cricetus cricetus* L.): Late Pleistocene connections between Caucasus and Western European populations. *PLoS ONE* 12(11).

Fielding AH, Bell JF. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38–49.

Fischer C, Wagner C. 2016. Can agri-environmental schemes enhance non-target species? Effects of sown wildflower fields on the common hamster (*Cricetus cricetus*) at local and landscape scales. *Biological Conservation*, 194, 168–175.

- Foltánek M. 2014. Vliv UVB záření na distribuci vybraných druhů rostlin. Diplomová práce, Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého Olomouc, 49 s., v češtině.
- Franklin J. 2009. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge. Cambridge University Press. 320pp. ISBN-13 978-0-511-77006-7 eBook
- Geoportal.gov. 2010. [online]. CENIA automapy. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_rt_automapy/MapServer/WMS/Server?
- GISAT. 2007. SRTM DEM. Data poskytl a zpracoval © GISAT (2007). [online]. [cit. 2016-10-18]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/produkty/data-ke-stazeni>
- Grinnell J. 1914. Barriers to distribution as regards birds and mammals. *Am Nat*48:248–254.
- Grulich I. 1975. Zum Verbreitungsgebiet der Art *Cricetus cricetus* in der Tschechoslowakei. - *Zoologické listy*, 24(3): 197–222.
- Grulich I. 1977. Křeček polní – *Cricetus cricetus* L. a zákonitosti jeho rozšíření v ČSSR. *Živa*25 (1): 35–37.
- Guisan A, Zimmermann EN. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135 (2000) 147–186.
- Guisan A, Tingley R, Baumgartner JB, Naujokaitis-Lewis I, Sutcliffe PR, Tulloch AIT, Regan TJ, Brotons L, McDonald-Madden E, Mantyka-Pringle C, Martin TG, Rhodes JR, Maggini R, Setterfield SA, Elith J, Schwartz MW, Wintle BA, Broennimann O, Austin M, Ferrier S, Kearney MR, Possingham HP, Buckley YM. 2013. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecol. Lett.* 16, 1424–1435.

- Hao T, Elith J, Guillerá-Arroita G, Lahoz-Monfort JJ. 2019. A review of evidence about use and performance of species distribution modelling ensembles like BIOMOD. *Wiley Diversity and Distributions*. 25:839–852
- Hastie T, Tibshirani R, Friedman J. 2001. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction*. New York: Springer-Verlag.
- Hędrzak M, Cywicka D, Kaim I. 2018. Comparison of localities of European hamster (*Cricetus cricetus*) in the areas of high and low level of human activity. *Urban Ecosystems*, 21:323–338.
- Hegyeli Z, Kecskés A, Korbut Z, Banaszek A. 2015. The distribution and genetic diversity of the common hamster *Cricetus cricetus* in Central and Western Romania. *Folia Zoologica* 64(2).
- Humboldt A, Bonpland A. 1807. *Essai sur la géographie des plantes*. Paris.
- Hutchinson GE. 1978. *An Introduction to Population Ecology* (Yale Univ Press, New Haven, CT).
- Chen IC, Hill JK, Ohlemuller R, Roy DB, Thomas CD. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, 333, 1024–1026.
- Kletty F, Tissier M, Kourkgy C et al. 2019. A focus on the European hamster to illustrate how to monitor endangered species. *Integrative Zoology* 14, 65–74.
- Korbut Z, Rusin M, Neuman K, Banaszek A. 2019. Filling the gap: the common hamster, *Cricetus cricetus*, phylogeography – a case study of Ukraine as potential refugial area, *Folia Zoologica*, 68(1):48-58.
- Litschmannová M. 2011. *Úvod do statistiky*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. pp 379.

- Lobo JM. 2008. More complex distribution models or more representative data? *Biodiversity Informatics*, 5, 14–19.
- Loos J, Batáry P, Grass I, Westphal C, Bänisch S, Baillod AB, Hass AL, Rosa J, Tschardt T. 2019. Vulnerability of ecosystem services in farmland depends on landscape management. *Atlas of Ecosystem Services*. pp 91–96.
- Manel S, Williams HC, Ormerod SJ. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 38, 921–931.
- Mašín D. 2017. Prostorová distribuce křečka polního v České republice [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PřF UP v Olomouci. 50 s. 2 přílohy. Česky
- Matějů J, Větrovcová J. 2015. Metodika na ochranu krajiny před fragmentací z hlediska druhů nelesních ekosystémů.
- Miller DAW, Pacifici K, Sanderlin JS, Reich BJ. 2019. The recent past and promising future for data integration methods to estimate species' distributions. *Methods in Ecology and Evolution*. 10:22–37.
- Morrison ML, Marcot BG, Mannan RW. 1998. *Wildlife-Habitat Relationships: Concepts and Applications*. 2nd edn. Madison, WI: The University of Wisconsin Press.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*. 5(1): 3–30.
- Melosik I, Ziomek J, Winnicka K et al. 2017: The genetic characterization of an isolated remnant population of an endangered rodent (*Cricetus cricetus* L.) using comparative data: implications for conservation. *Conserv. Genet.* 18: 759–775.
- Neumann K, Jansman H, Kayser A, Maak S, Gattermann R. 2004. Multiple bottlenecks in threatened western European populations of the common hamster *Cricetus cricetus* (L.). *Conservation Genetics*, 5, 181–193.

- Neumann K, Michaux JR, Maak S, Jansman HAH, Kayser A, Mundt G, Gattermann R. 2005. Genetic spatial structure of European common hamsters (*Cricetus cricetus*) A result of repeated range expansion and demographic bottlenecks. *Molecular Ecology*, 14, 1473–1483.
- O'Brien J. 2015. Saving the common hamster (*Cricetus cricetus*) from extinction in Alsace (France): potential flagship conservation or an exercise in futility? *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 26. 89–94.
- Pedreschi D, García-Rodríguez O, Yannic G, Cantarello E, Diaz A, Golicher D, Korstjens AH, Heckel G, Searle JB, Gillingham P, Hardouin EA, Stewart JR. 2019. Challenging the European southern refugium hypothesis: Species-specific structures versus general patterns of genetic diversity and differentiation among small mammals. *Global Ecology and Biogeography* 28 (2), 262–274.
- Reiners TE, Gotschalk TK, Jorgea E. 2011. Potential versus realized distribution-Habitat suitability modelling for the Common hamster (*Cricetus cricetus*) in Hesse (Germany) Potentielle versus realisierte Verbreitung - Habitateignungsmodell für den Feldhamster (*Cricetus cricetus*) in Hessen (Deutschland) *Säugetierkundliche Informationen*, Jena 8.
- Sheriff MJ, Dantzer B, Delehanty B, Palme R, Boonstra R. 2011. Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. *Oecologia* 166, 869–87.
- Soberón J, Nakamura M. 2009. Niches and distributional areas: concepts, 268 methods, and assumptions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106, 19644–19650.
- Surov A, Banaszek A, Bogomolov P, Feoktistova N, Monecke S. 2016. Dramatic global decrease in the range and reproduction rate of the European hamster *Cricetus cricetus*. *Endangered Species Research* 31, 119–145.
- Stoate C, Boatman ND, Borralho RJ, Carvalho CR, de Snoo GR, Eden P. 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* 63, 337–65.

- Swets JA. 1988. Measures of the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.
- Tissier ML, Handrich Y, Robin JP et al. 2016. How maize monoculture and increasing winter rainfall have brought the hibernating European hamster to the verge of extinction. *Scientific Reports* 6, 25531.
- Tissier ML. 2017. Conservation biology of the European hamster (*Cricetus cricetus*): Nutritional effects of crops on hamsters fitness and evaluation of their antipredatory behavior to upgrade wildlife underpasses. *Biodiversity and Ecology*. Université de Strasbourg, English.
- Tissier ML, Handrich Y, Dallongeville O, Robin JP, Hibold C. 2017. Diets derived from maize mono-culture cause maternal infanticides in the endangered European hamster due to a vitamin B3 deficiency. *Proceedings of the Royal Society of London B* 284, 20162168.
- Tissier ML. 2019. Weeds as a predominant food source: a review of the diet of common hamsters *Cricetus cricetus* in farmlands and urban habitats. *Mammal Review* 49 (2019). 152–170
- Tkadlec E, Heroldová M, Víšková V, Bednář M, Zejda J. 2012. Distribution of the common hamster in the Czech Republic after 2000: retreating to optimum lowland habitats. *Folia Zoologica*. 61(3/4): 246
- Ulbrich K, Kayser A. 2004. A risk analysis for the common hamster (*Cricetus cricetus*). *Biological Conservation*. Volume 117, Issue 3, May 2004, Pages 263-270
- Vohralík V, Anděra M. 1976. Rozšíření křečka polního *Cricetus cricetus* (L.) v Československu. *Lynx*. 13: 85–97.
- Vohralík V, Melichar V. 2016. Current distribution of *Cricetus cricetus* in Bohemia, Czech Republic (Rodentia: Cricetidae). *Lynx, series nova*, 47.

- Vohralík V, Melichar V. 2019. Předběžné výsledky mapování rozšíření křečka polního (*Cricetus cricetus*) v Čechách (Rodentia: Cricetidae) v letech 2012–2015. *Příroda*, Praha, 39: 113–122
- Villemey A, Besnard A, Grandadam J, Eidenschenck J. 2013. Testing restocking methods for an endangered species: Effects of predator exclusion and vegetation cover on common hamster (*Cricetus cricetus*) survival and reproduction. *Biological conservation*. 158: 147–154.
- Witten IH, Frank E, Hall MA. 2011. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Third Edition)*, Morgan Kaufmann.
- WorldClim, Global climate data, free climate data for ecological modelling and GIS. [online]. [cit. 2016-09-12]. Dostupné z: <http://www.worldclim.org/version1>

8. Přílohy

Příloha 1 Popisná statistika jednotlivých faktorů životního prostředí

	BIO4	BIO8	BIO12	BIO15	sklonitost svahu	DEM	TIM
Stř. hodnota	7,105865	1,70782	583,993	41,810	1,805	294,257	5,480
Chyba stř. hodnoty	4,931	0,202	1,312	0,075	0,038	2,504	0,073
Medián	7,109000	1,72000	580,000	43,000	1,359	259,000	4,892
Modus	7,232000	1,71000	574,000	43,000	0,506	242,000	4,133
Směr. odchylka	206,934	8,473	55,069	3,159	1,584	105,070	2,395
Rozptyl výběru	42,821797	7,1796	3032,562	9,980	2,509	11039,664	5,738
Špičatost	789,943	93,057	7,044	17,180	9,118	1,825	4,139
Šikmost	-22,997	-5,095	-0,219	-2,088	2,224	1,464	1,648
Rozpětí	7,388000	1,86000	770,000	46,000	16,792	682,000	17,285
Minimum	6,777000	1,45000	482,000	29,000	0,000	144,000	2,060
Maximum	7,388000	1,86000	770,000	46,000	16,792	682,000	19,345
Počet	1761	1761	1761	1761	1761	1761	1067

Příloha 2 Výsledky t-testu a Mann-Whitneyova testu pro jednotlivé faktory ŽP, průměrné hodnoty pro prezenční (1) a absenční (0) body, jen pro kontinuální proměnné

	výskyt křečka	popisná statistika				t-test			test mediánů Man - Whitney		
		počet	průměr	standardní odchylka	medián	t-test	p	shoda průměrů pro $\alpha=0,05$	Z-test	p	shoda mediánů pro $\alpha=0,05$
BIO4	0	857	7,10163	125,47	7,110	-2,8410	0,0046	ano	-2,2560	0,0240	ano
	1	903	7,11775	111,70	7,107						
BIO8	0	857	1,6814	8,39	1,69	-16,1558	0,0000	ne	-14,3718	0,0000	ne
	1	903	1,7348	5,20	1,74						
BIO12	0	857	608,93	50,15	596	21,1168	0,0000	ne	18,7213	0,0000	ne
	1	903	560,98	45,07	545						
BIO15	0	857	41,57	2,95	42	-3,6219	0,0000	ne	-4,0879	0,0000	ne
	1	903	42,09	3,02	43						
DEM	0	857	338,17	124,22	305	18,3393	0,0000	ne	15,3149	0,0000	ne
	1	903	252,91	57,08	242						
Sklonitost svahu	0	857	2,22	1,82	1,77	10,8707	0,0000	ne	10,8094	0,0000	ne
	1	903	1,42	1,19	1,08						
TIM	0	515	5,28	2,44	4,52	-2,6391	0,0084	ne	-4,2563	0,0000	ne
	1	552	5,67	2,34	5,12						

Příloha 3 Typ půdy – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Půdní typ	0	1	Celkový součet
1 černice	35	33	68
2 černozemě	165	512	677
3 hnědozemě	154	161	315
4 luvizemě	74	29	103
5 fluvizemě	67	70	137
6 kambizemě	10	24	34
7 gleje a podzoly	312	65	377
8 ostatní	40	9	49
Celkový součet	857	903	1760

Příloha 4 Typ půdy – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Výskyt křečka			
Půdní typ	0	1	Celkový součet
1 černice	4,08%	3,65%	3,86%
2 černozemě	19,25%	56,70%	38,47%
3 hnědozemě	17,97%	17,83%	17,90%
4 luvizemě	8,63%	3,21%	5,85%
5 fluvizemě	7,82%	7,75%	7,78%
6 kambizemě	1,17%	2,66%	1,93%
7 gleje a podzoly	36,41%	7,20%	21,42%
8 ostatní	4,67%	1,00%	2,78%
Celkový součet	100,00%	100,00%	100,00%

Příloha 5 Nadmořská výška (DEM) – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Výskyt křečka			
Nadmořská výška	0	1	Celkový součet
do 300	418	763	1181
301 až 400	211	126	337
401 až 500	99	14	113
501 až 600	98	0	98
nad 600	31	0	31
Celkový součet	100,00%	100,00%	100,00%

Příloha 6 Nadmořská výška (DEM) – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Výskyt křečka			
Nadmořská výška	0	1	Celkový součet
do 300	48,77%	84,50%	67,10%
do 400	24,62%	13,95%	19,15%
do 500	11,55%	1,55%	6,42%
do 600	11,44%	0,00%	5,57%
nad 600	3,62%	0,00%	1,76%
Celkový součet	100,00%	100,00%	100,00%

Příloha 7 Sklonitost svahu – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Výskyt křečka			
Sklonitost svahu	0	1	Celkový součet
do 1 %	230	413	643
do 2 %	234	288	522
do 3 %	184	119	303
do 4 %	96	45	141
do 5 %	50	18	68
do 6 %	27	11	38
nad 6 %	36	9	45
Celkový součet	857	903	1760

Příloha 8 Sklonitost svahu – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Sklonitost svahu	0	1	Celkový součet
do 1 %	26,84%	45,74%	36,53%
do 2 %	27,30%	31,89%	29,66%
do 3 %	21,47%	13,18%	17,22%
do 4 %	11,20%	4,98%	8,01%
do 5 %	5,83%	1,99%	3,86%
do 6 %	3,15%	1,22%	2,16%
nad 6 %	4,20%	1,00%	2,56%
Celkový součet	100,00%	100,00%	100,00%

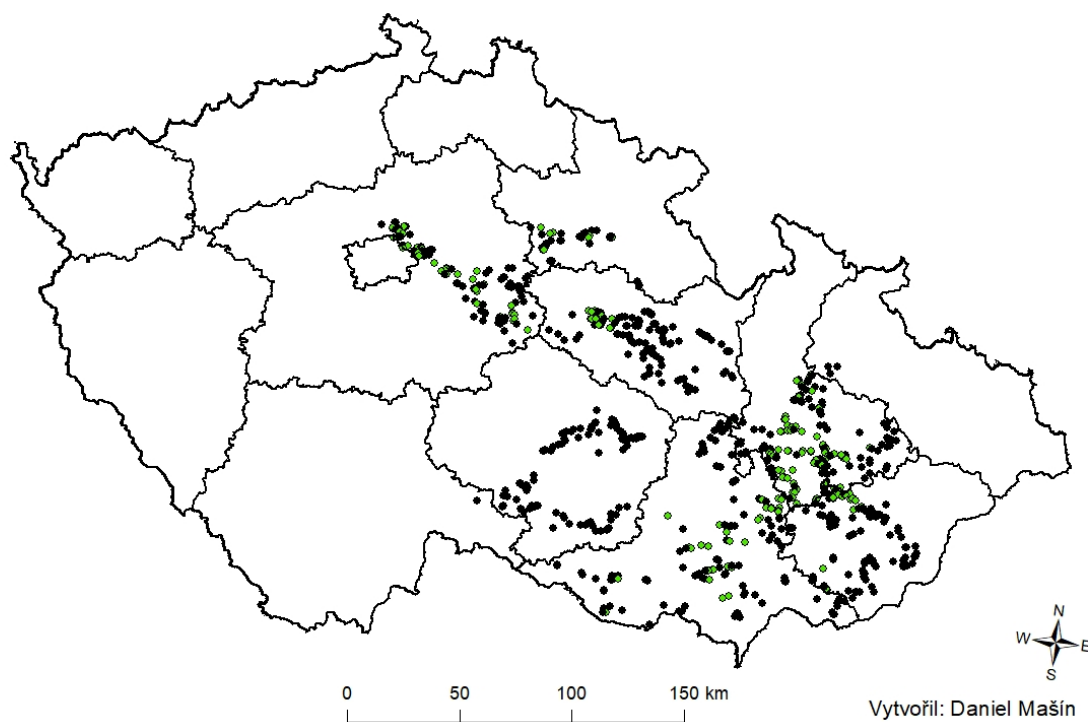
Příloha 9 Krajinný pokryv (CORINE) – množství absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Krajinný pokryv	Výskyt křečka		Celkový součet
	0	1	
orná půda	684	780	1464
louka	36	8	44
les	33	13	46
venkov	59	16	75
průmysl	43	85	128
nevhodné	2	1	3
Celkový součet	857	903	1760

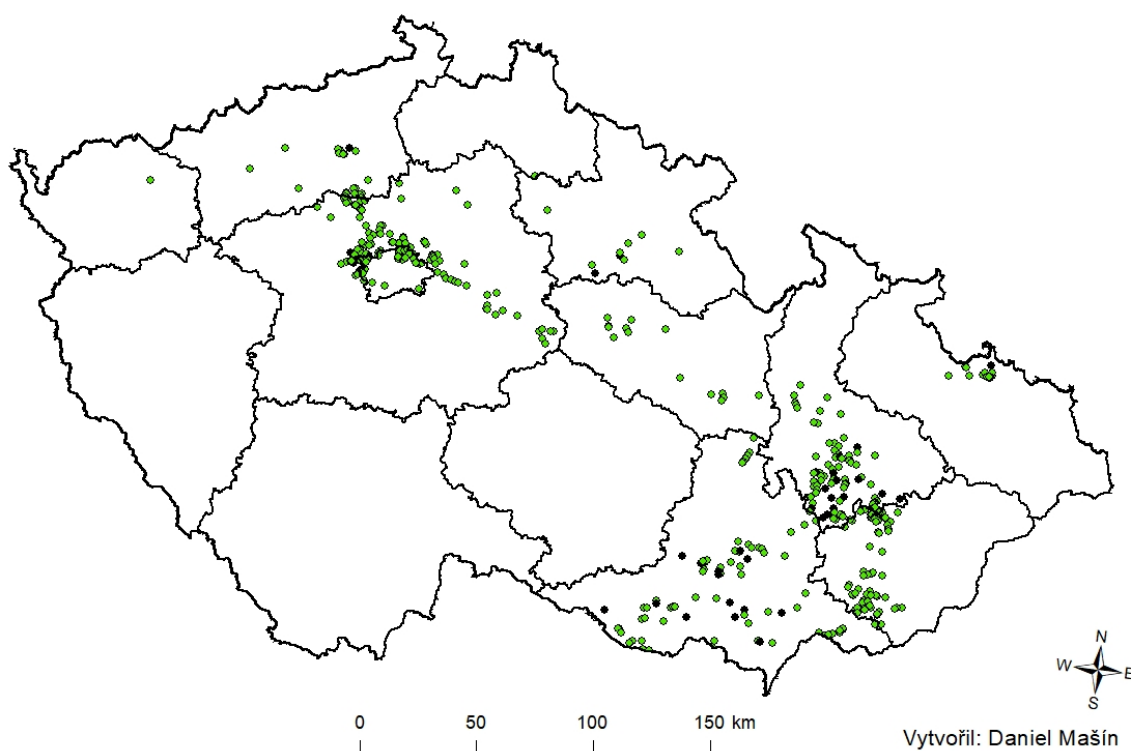
Příloha 10 Krajinný pokryv (CORINE) – celkové procentuální zastoupení absenčních (0) / prezenčních (1) bodů v jednotlivých kategoriích.

Krajinný pokryv	Výskyt křečka		Celkový součet
	0	1	
orná	79,81%	86,38%	83,18%
louka	4,20%	0,89%	2,50%
les	3,85%	1,44%	2,61%
venkov	6,88%	1,77%	4,26%
průmysl	5,02%	9,41%	7,27%
nevhodné	0,23%	0,11%	0,17%
Celkový součet	100,00%	100,00%	100,00%

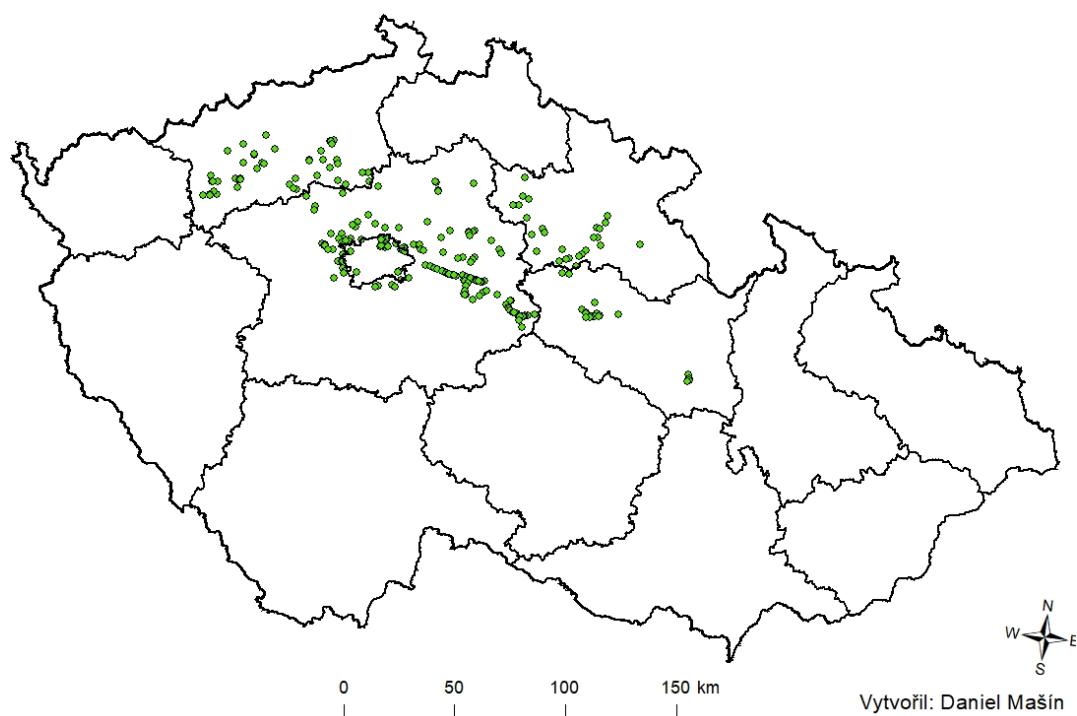
Příloha 11 Výskyt křečka polního v ČR, aktualizovaná nepublikovaná nálezová databáze včetně roku 2018 od prof. MVDr. Emila Tkadlece CSc.



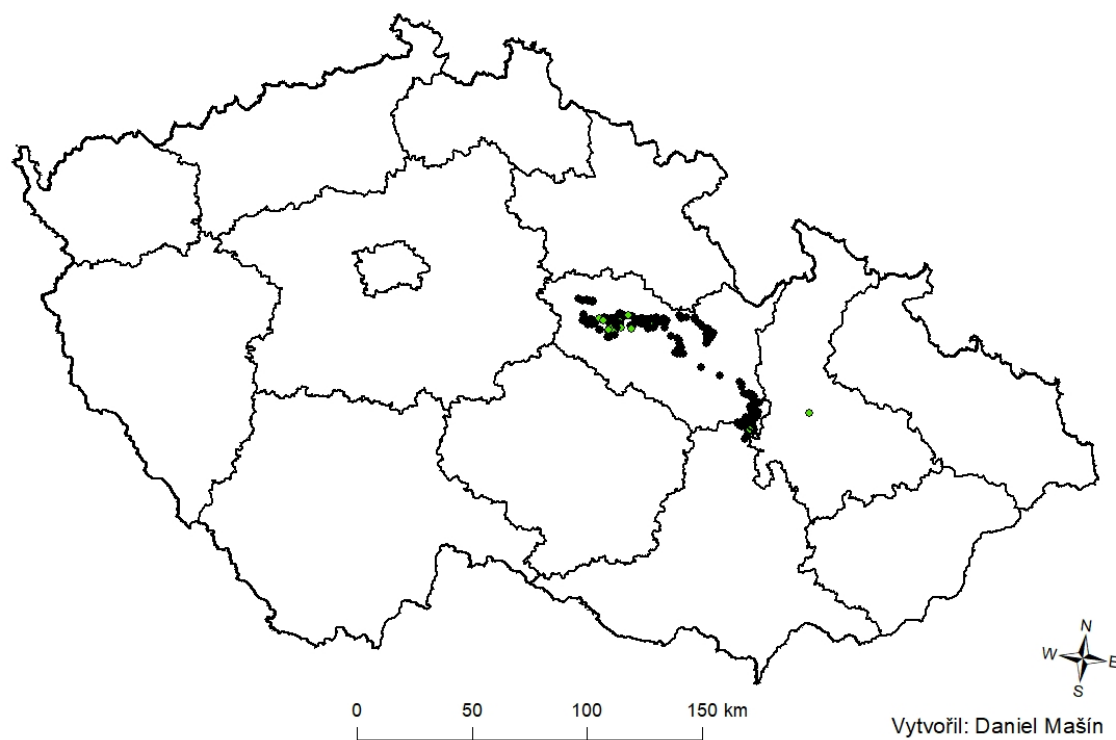
Příloha 12 Výskyt křečka polního v ČR, nálezová data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), v rozmezí let 2010 až 2019



Příloha 13 Výskyt křečka polního v ČR, nálezová data Vohralíka a Melichara (Vohralík et Melichar 2016)

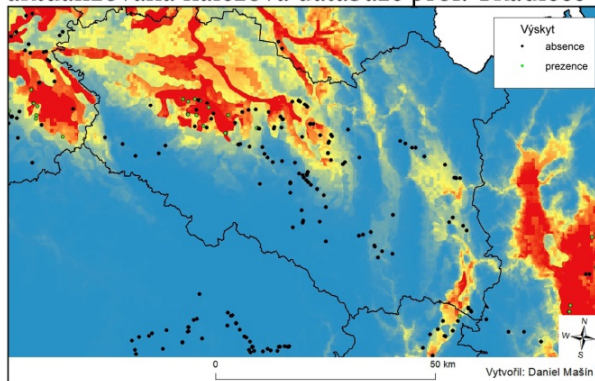


Příloha 14 Výskyt křečka polního v ČR, vlastní nálezová data z roku 2018

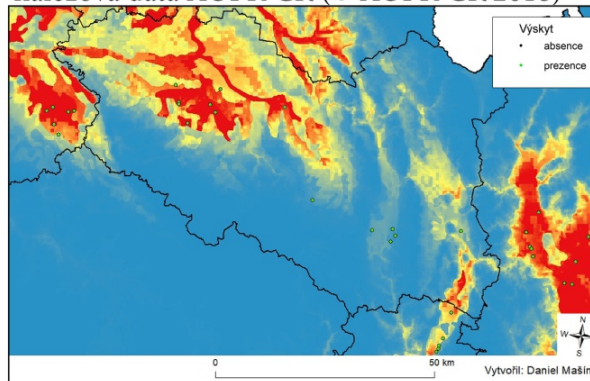


Příloha 15 Porovnání výskytu křečka polního v Pardubickém kraji na podkladu predikční mapy z bakalářské práce (Mašín 2017), vyobrazení podle použitých náleзовých dat, : 1) aktualizovaná nepublikovaná náleзовá databáze včetně roku 2018 od prof. MVDr. Emila Tkadlece CSc.; 2) náleзовá data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018); 3) náleзовá data Vohralíka a Melichara (2016); 4) vlastní náleзовá data z roku 2018

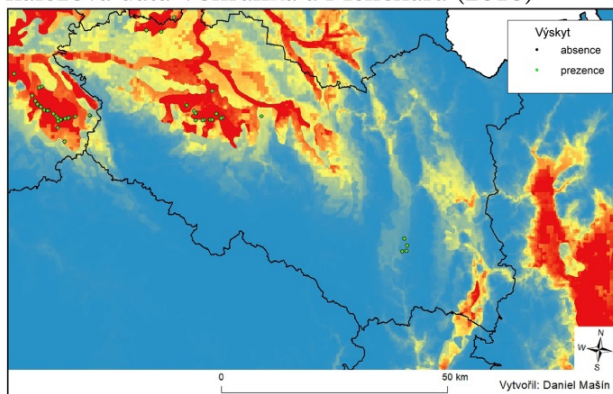
aktualizovaná náleзовá databáze prof. Tkadlece



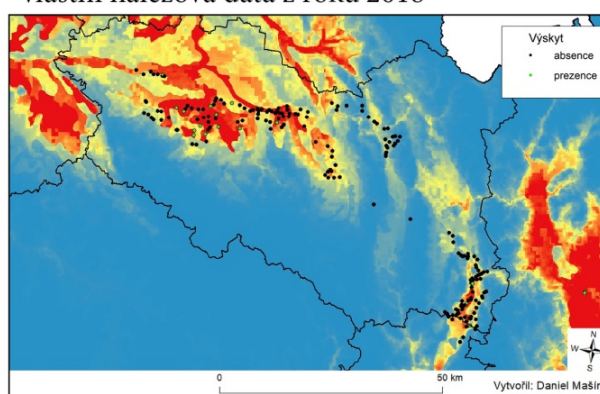
náleзовá data AOPK ČR (© AOPK ČR 2018)



náleзовá data Vohralíka a Melichara (2016)

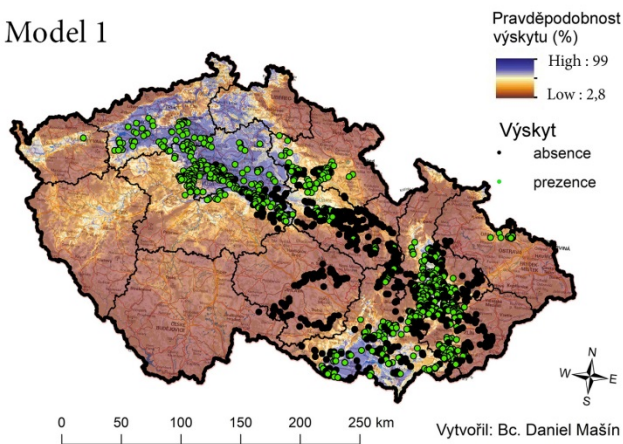


vlastní náleзовá data z roku 2018

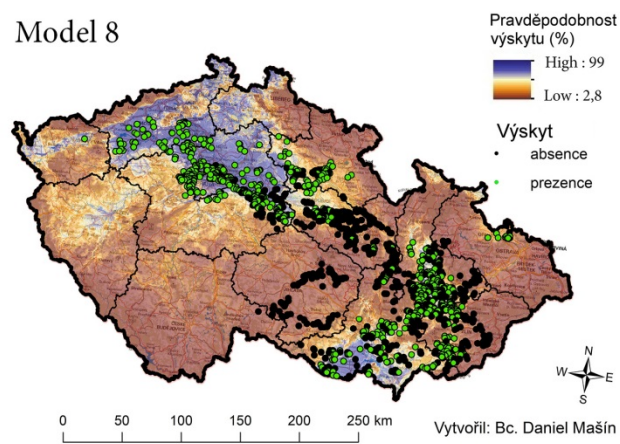


Příloha 16 Porovnání nejlepších modelů, v podkladu automapa (Geoportal.gov. 2010): 1) Model 1; 2) Model 8; 3) Model 9 – nejlepší model; 4) Validovaný model BP ale jen s daty AOPK ČR (© AOPK ČR 2018), daty Vohralíka a Melichara (2016) a vlastní nálezová data; 5) původní model bakalářské práce (Mašín 2017) – s přesnějším grafickým znázorněním menších rozdílů v predikci, kvůli grafickému porovnání s novými modely; 6) Původní model bakalářské práce (Mašín 2017) v původním zobrazení s původními body

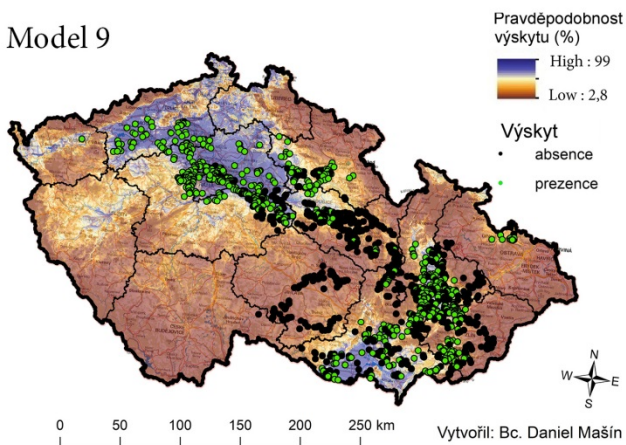
Model 1



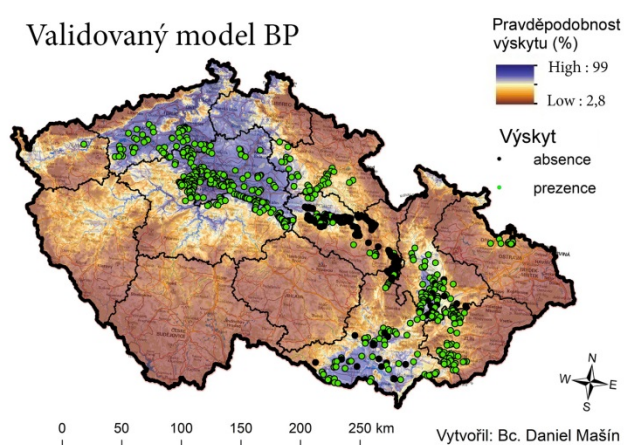
Model 8



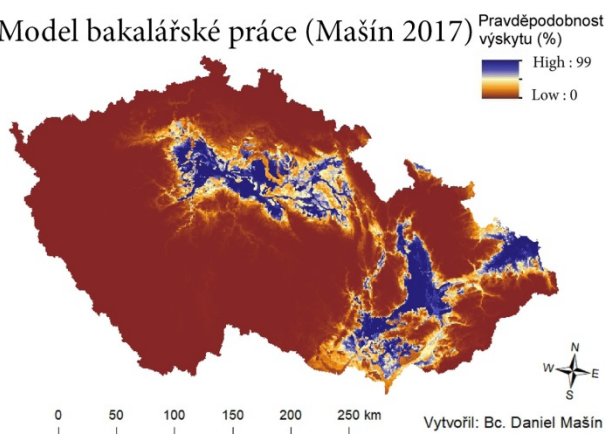
Model 9



Validovaný model BP



Model bakalářské práce (Mašín 2017)



Model bakalářské práce (Mašín 2017)

