

Univerzita Karlova v Praze

**Přírodovědecká fakulta
Katedra zoologie**



**Naturalizace želvy nádherné (*Trachemys scripta*)
v České republice**

*Naturalization of the pond slider (*Trachemys scripta*)
in the Czech Republic*

Jindřich Brejcha

Diplomová práce
Praha 2013

Vedoucí práce: RNDr. Martin Šandera, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Všechny použité prameny jsou uvedeny v seznamu literatury.

vdne podpis

„Jestliže člověk jako bytost (osoba) je větší než svět, jako existence (živý dynamismus) je součástí kosmu. Proto, jakkoliv účelem jeho jednání je v podstatě dosažení plnosti nebo štěstí, bezprostředním účelem je sloužit celku, jehož je součástí. Jestliže je člověk součástí světa, musí mu sloužit, i když celý kosmos má za cíl pomáhat člověku, aby lépe dosáhl svého štěstí“

„Luigi Giussani“

Poděkování

Děkuji panu profesorovi Vojtěchu Jarošíkovi za milé a konstruktivní konzultace. Jeho příklad zásadně ovlivnil mé chápání biologie a možná vnesl i více lidskosti do života.

Děkuji své rodině za bezmeznou podporu morální, materiální i finanční.

Děkuji Jakubovi Kreisingerovi za poskytnutí části měřících zařízení a konzultace, Muzeu přírody Český ráj za zakoupení části měřících zařízení a podpoře projektu „Hodní nebo zlí američtí ninjové“ pro sběr záznamů výskytu, Petrovi Civišovi za uvedení do prostředí MaxEnt a zpracování geografických vrstev, Sáře Varela za vynikající kurz modelování výskytu druhů a formátování některých podkladů, Jiřímu Šmídovi za uvedení do programu ENMTools, Joaquimu Solerovi za pomoc při získávání dat na lokalitě v Katalánsku, Evě Bórikové za pomoc při získávání dat v Piešťanech, panu Chadimovi ze ZOO Děčín, Petře Procházkové za pomoc s výběrem místa měření v Botanické zahradě UK, panu Žárovi z vinařství Lobkovicz, panu Bulánkovi z vinařství sklep Grébovka, panu doktoru Jiřímu Moravcovi za možnost přispět do Fauny ČR, Nataše Velenské a Klubu chovatelů želv, Petrovi Kodymovi a Teraristické společnosti Praha, Romanu Rozínkovi, Michalovi Slobodovi, Vojtěchovi Millerovi, Lence Jeřábkové a Art Flowers.

V neposlední řadě děkuji svému školiteli Martinovi Šanderovi za uvedení do studia želv a herpetologie obecně, za léta pod jeho vedením a za připomínky k textu práce.

Shrnutí

Opatření ochrany přírody proti nepůvodním druhům jsou nejefektivnější zejména v brzkých fázích invaze, kdy jsou postižena pouze malá území. Modelování rozšíření druhů (SDM) je moderní nástroj pro analýzu a komparaci podmínek v geografickém prostoru. V práci bylo užíváno korelačních přístupů SDM pro deskripci a predikci realizované niky *Trachemys scripta* na území České republiky s využitím Grinelovských tříd proměnných. Výsledky modelů BIOCLIM a MaxEnt ukázaly, že rozsah hodnot výskytu *T. scripta* v přírodních podmínkách v ČR tvoří okraj potenciálního rozšíření v Evropě. Výskyt *T. scripta* na našem území nejvíce ovlivňují: lidská činnost, průměrná roční teplota a teplotní charakteristiky chladných období. *Trachemys scripta* prochází na našem území procesem naturalizace a kritickým bodem by, zejména z hlediska možností inkubace vajec, mohly být teplotní podmínky. Možnosti úspěšné inkubace vajec *T. scripta* byly měřeny přímo na lokalitách v terénu a porovnány pomocí sumy efektivních teplot (SET) nad spodním prahem vývoje (SPV). V sezóně 2012-2013 bylo SET na území ČR dosaženo na lokalitách v Praze. Místa, kde bylo v průběhu měření dosaženo sumy efektivních teplot na území ČR, jsou urbánními biotopy. *T. scripta* lze v České republice považovat za přechodně zavlečený kryptogenní nepůvodní druh (casual) species.

Klíčová slova: invaze, etablování, přechodně zavlečený nepůvodní druh, modelování rozšíření druhů, suma efektivních teplot (SET), spodní práh vývoje (SPV)

Summary

Conservation measures against non-native species are most effective especially in the early stages of invasion, when affected area is small. Species distribution modelling (SDM) is an advanced tool for analyzing and comparing the conditions in geographic space. In this work correlative SDM approaches were used for the description and prediction of realized niche of *Trachemys scripta* in the Czech Republic using Grinelian classes of variables. Results of BIOCLIM and MaxEnt models have shown that the range of values of *T. scripta* occurrences in natural conditions in the Czech Republic is an extreme edge of potential distribution in Europe. The incidence of *T. scripta* is most affected by: human impact, the average annual temperature and thermal characteristics of the cold season. *Trachemys scripta* is going through establishment process. Particularly temperature conditions are critical point in terms of limits of successful incubation. The possibilities of successful incubation of *T. scripta* eggs were measured directly at sites in the field and compared with the sum of effective temperatures (SET) above the lower developmental threshold (LDT). In the season 2012-2013 SET in the Czech Republic was reached at localities in Prague. Localities where SET was reached during the measurements in the Czech Republic are urban habitats. In the Czech Republic *T. scripta* should be considered as cryptogenic casual alien species.

Key words: invasion, establishment, casual alien species, species distribution modelling, sum of effective temperatures, lower developmental threshold

Obsah

1. Úvod.....	2
1.1 Terminologie a koncept invaze	4
1.2 Modelování rozšíření druhů	8
1.3 Současný status <i>Trachemys scripta</i> v České republice	10
1.4 Teplotní limity pro inkubaci vajec	15
2. Cíle.....	17
3. Metodika	18
3.1 Modelování rozšíření <i>Trachemys scripta</i>	18
Záznamy výskytu	21
Reprezentace podmínek prostředí	22
BIOCLIM.....	24
MaxEnt.....	25
3.3 Měření teploty substrátu.....	26
Umístění měřících zařízení	26
Výpočet fyziologického času	28
Porovnání naměřených výsledků	29
4. Výsledky	30
4.1 Modelování rozšíření <i>Trachemys scripta</i>	30
Explorační analýza záznamů výskytu a podmínek prostředí	30
BIOCLIM.....	31
MaxEnt.....	33
4.2 Měření teplot substrátu.....	35
5. Diskuze.....	38
6. Závěr	45
7. Literatura.....	46

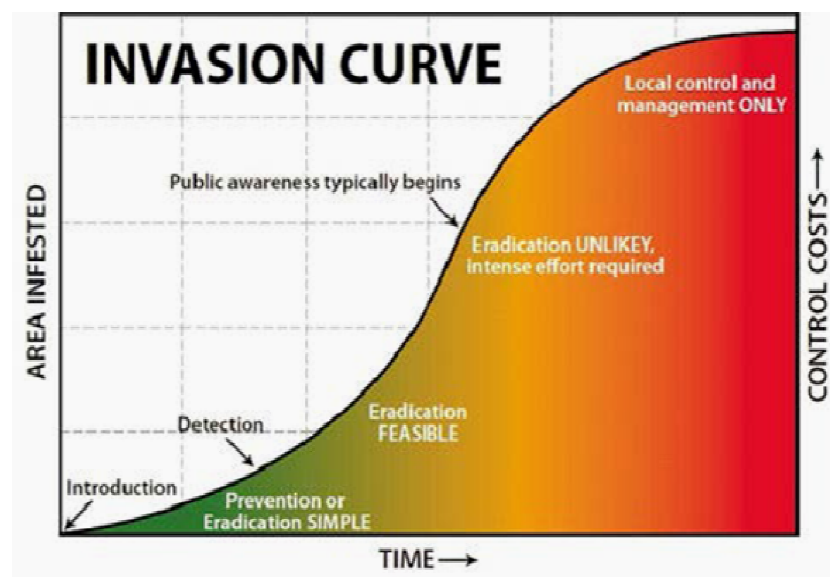
1. Úvod

Želva nádherná *Trachemys scripta* (Thunberg in Schoepf, 1792) je jedním ze sta vlajkových nepůvodních druhů (Lowe et al. 2000). Spolu s kožnatkou čínskou *Pelodiscus sinensis* (Wiegmann, 1834) jsou zároveň ekonomicky nejvýznamnější želvy světa. Komerční obrat v druhé polovině dvacátého století čítal desítky milionů kusů (Telecky 2001, Haitao et al. 2008). Na rozdíl od *Pelodiscus sinensis*, která se prodávala zejména kvůli konzumaci, byla *Trachemys scripta* předmětem obchodu s domácími mazlíčky (Telecky 2001, Haitao et al. 2008). Zejména díky vypouštění nechtěných jedinců veřejností byla *Trachemys scripta* zavlečena na území všech kontinentů kromě Antarktidy (Newberry 1984, Chen et Lue 1998, Feldman 2005, Perry et al. 2007, Outerbridge 2008, Schacham et Hatzofe 2008). V Evropě pak jsou záznamy o výskytu z Portugalska (Teixeira et al. 2013), Španělska (Perez-Santigosa et al. 2008), Francie (Arvy et Servan 1998), Velké Británie (Parrot et Roy 2009), Nizozemska (Bugter et al. 2011), Německa, Dánska, Švédska, Polska (Bringsøe 2006), Slovenska (Vráblová 2005), Maďarska (Puky et al. 2004), Lotyšska, Litvy, Ruska (Pupins 2007), Itálie (Ficetola et al. 2002), Slovinska (Krofel et al. 2009), Srbska (Isailović et Mesaroš 2013), Chorvatska (Šalamon et al. 2013), Bulharska (Mollov et al. 2013) a Řecka (Bruekers 2006).

V současné chvíli jsme svědky velkého úbytku diverzity želv na planetě, například tzv. Asijská želví krize, kdy některé druhy vymizely z přírody a známe je již jen z tržišť (Cheung et Dudgeon 2006). Ale i v Evropě jsou ohroženy původní druhy želv (např. želvy rodu *Emys* jsou na některých místech dokonce vyhynulé) (Fritz et Chiari 2013). Kromě ztráty biotopů a vychytávání želv v minulosti je velkým problémem zejména v jižních státech Evropy právě působení zavlečené *Trachemys scripta*. Například na některých lokalitách ve Valencii jedinci *Trachemys scripta* až o dva řády převyšují počty původních druhů želv (LIFE-Trachemys 2012). Proto pro původní taxony vznikají záchranné programy, avšak jejich úspěšná realizace je velmi obtížná (Bartolero et Oro 2009).

Změny globálního životního prostředí způsobené lidskou činností přispívají k v současné době sledovanému fenoménu vymírání druhů. Tyto změny biodiverzity mění i fungování ekosystémů (Chapin et al. 2000). Existují dvě základní hypotézy o vlivu biodiverzity na úspěch invazí, podle kterých jsou nepůvodní druhy úspěšné buď na

územích s velkou, nebo naopak malou diverzitou původních taxonů (Darwin 1859, Elton 1958). Introdukce obecně jsou jednou z hlavních příčin lidmi zprostředkovaného úbytku biodiverzity na Zemi (Vitousek et al. 1997). Anglický ekolog Charles Elton jako první rozpoznal globální rozměry vlivu introdukcí nepůvodních taxonů (Elton 1958). Jsou vydávány obrovské prostředky pro zmírnění nežádoucího působení nepůvodních druhů (např. OTA 1993, Pimentel et al. 2001). Z ekonomického hlediska a z hlediska managementu je rozhodující, v jaké fázi po zavlečení se nepůvodní taxon nachází. Méně nákladná a účinnější jsou preventivní opatření provedená před introdukcí nebo opatření provedená brzy po introdukci (Obr. 1) (Bugter et al. 2011), kdy ještě areály invazního rozšíření nepokrývají velká území (Pluess et al. 2012). Puth a Post (2006) hodnotili zastoupení publikací týkajících se různých stupňů úspěšnosti zavlečených druhů, jen malá část publikací se však týkala raných fází po vysazení. Studium na území, kde probíhá hranice potenciální úspěšné naturalizace, může odhalit limitující faktory invaze. Tyto poznatky mohou být užitečné pro aplikovanou ochranu přírody, například při určování priorit pro management na lokalitách s výskytem nepůvodních druhů. V případě *Trachemys scripta* by mohla takovým územím být Česká republika.



Obr. 1 – Křivka nárůstu výdajů (control costs) spojených s managementem na územích s výskytem nepůvodního druhu podle včasnosti provedení opatření (time) a plochy postižených oblastí (area infested) (převzato z Bugter et al. 2011).

1.1 Terminologie a koncept invaze

První kroky pro zavedení jednotné biologicky vymezené terminologie procesů biologické invaze již na počátku 20. století učinil švýcarský botanik Albert Thellung (Kowarik et Pyšek 2012). Vzhledem k velké diverzitě nepůvodních organismů a hypotéz vznikla během času nezávisle na sobě velká diverzita termínů s invazí spojených. Tyto mohou, ale nemusí být synonymní. Pro správné diskutování výsledků umožňující komparaci je však nutné terminologii sjednotit. Richardson et al. (2000) analyzovali význam slova „naturalized“ na základě shody ve významech v 157 článcích v impaktovaných časopisech. Výsledkem bylo, že slovo „naturalized“ je užíváno ve čtyřech pojetích: **23% (konvenční)** užívá „naturalized“ pro nepůvodní rostliny, jež se rozmnožují a udržují populace bez přímého přispění člověka; **8% (soběstačné)** užívá „naturalized“ v podobném slova smyslu jako výše uvedené s tím rozdílem, že taxon je považován za naturalizovaný, pouze pokud se rozmnožuje pravidelně mimo člověkem obhospodařovaná území; **25% (nepůvodní)** používá slovo ve smyslu nepůvodních taxonů; **29% (invazivní)** do této kategorie zapadalo nejvíce přezkoumávaných článků, podle těchto autorů se taxon šíří a naturalizuje zároveň.

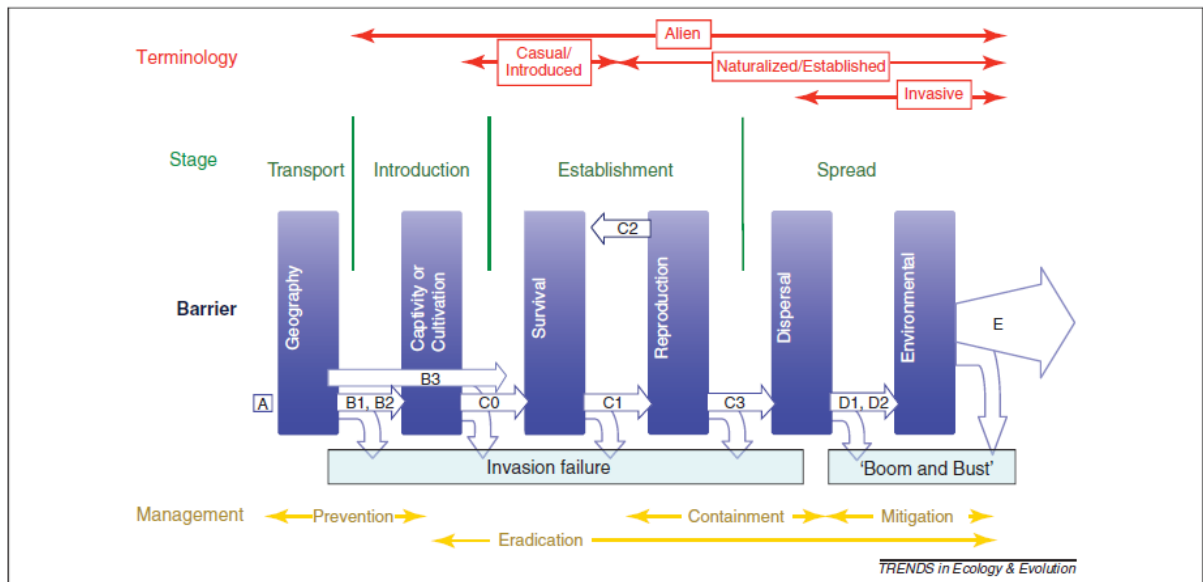
Pyšek et al. 2008 přeložili základní termíny (Tab. 1), které jsou v současnosti užívány při studiu nepůvodních druhů.

Tab. 1 – Anglická a česká terminologie spojená s biologickými invazemi sensu Pyšek et al. 2008.

ANGLICKÝ TERMÍN	ČESKÝ TERMÍN
alien species (syn. exotic, non-native, non-indigenous)	zavlečený, nepůvodní, allochtonní druh
casual species	přechodně zavlečený druh (příležitostný)
cryptogenic species	kryptogenní druh (nelze rozhodnout, zda-li se množí)
dispersal	rozšiřování diaspor (částic, které mohou dát vzniknout novému jedinci)
escape	zplanění (rozšíření záměrně chovaného druhu)
established species (viz naturalized species)	naturalizovaný druh
expansion	expanze (proces šíření původního druhu)
exotic species (viz alien species)	zavlečený, nepůvodní, allochtonní druh
impact	impakt (ekologické, ekonomické a sociální důsledky invaze)
indigenous species	původní, autochtonní druh
intentional introduction	úmyslné zavlečení
introduction	zavlečení, introdukce
invaded range	nepůvodní, sekundární areál
invasibility	invazibilita (vlastnost společenstva, stanoviště, biotopu, území)
invasion	invaze (proces šíření nepůvodního druhu)
invasion pathway	způsob zavlečení
invasion vector	prostředek přenosu
invasive species	invazní druh (naturalizovaný druh, který se na novém území rychle šíří)
invasiveness	invazivnost (vlastnost taxonu, druhu; schopnost invadovat)
level of invasion	invadovanost (vlastnost společenstva, stanoviště, biotopu, území)
long-distance dispersal	dálkové rozšiřování
native range (syn. primary range)	původní, primární areál (oblast původního rozšíření)
native species	původní, autochtonní druh
naturalized species (syn. established species)	naturalizovaný druh (zavlečený druh, který na novém území vytváří dlouhodobě se reprodukující populace)
neobiota	neobiota (termín zahrnující rostliny a živočichy zavlečené po roce 1500)
non-indigenous species (viz alien species)	zavlečený, nepůvodní, allochtonní druh
non-native species (viz alien species)	zavlečený, nepůvodní, allochtonní druh
pest species	problémový druh (druh s negativním ekonomickým impaktem)
primary range (viz native range)	původní, primární areál (oblast původního rozšíření)
propagule pressure	přísun diaspor (částic, které mohou dát vzniknout novému jedinci)
residence time	čas od zavlečení
secondary range (viz invaded range)	nepůvodní, sekundární areál
spread	šíření (na rozdíl od termínu dispersal, se vztahuje k celému druhu či populaci)
Tens Rule	pravidlo desetín
unintentional introduction	neúmyslné zavlečení

Obor invazní biologie zahrnuje dva hlavní konceptuální proudy vymezující jednotlivé fáze procesu invaze. První směr uvažování prosazuje přístup na základě populačních dynamik (Williamson et Fitter 1996). Zavádí pravidlo desetiny, resp. tři desetin (three tens rule). Podle tohoto pravidla se jeden z deseti importovaných taxonů objeví ve volné přírodě (introdukovaný, přechodně zavlečený taxon), jeden z deseti introdukovaných se naturalizuje (naturalizovaný, etablovaný taxon) a jeden z deseti naturalizovaných se pak stává problematickým. Existují hojné výjimky od tohoto pravidla (Williamson et Fitter 1996). Druhý, novější, proud vymezuje jednotlivé fáze na základě série bariér, které musí taxon v průběhu invaze překonávat (Richardson et al 2000). Podle tohoto přístupu se **zavlečením** rozumí překonání hlavní geografické bariéry taxonem nebo jeho diasporami díky lidské činnosti. Některé taxony pak dokáží přežít v přírodě, dokonce se i rozmnožovat pohlavně či nepohlavně, ale selhávají při udržování populací po delší časová období. Takové taxony se nazývají **přechodně zavlečené druhy**. Přechodně zavlečené druhy potřebují být vysazovány opakovaně, aby dokázaly odolat novým podmínkám. **Naturalizace** začíná v okamžiku, kdy bariéry dané novým prostředím nebrání jedincům v přežívání a kdy jsou překonány bariéry pro pravidelné rozmnožování. Předpokládá se, že na této úrovni jsou populace tak dostatečně velké, že pravděpodobnost vymření díky nepredikovatelným výkyvům prostředí je malá. Aby se pak **taxon** dal označit jako **invazivní**, je nutné, aby překonal bariéry pro šíření v novém prostředí a vyrovnal se s abiotickým prostředím a biotickými interakcemi. Hlavní charakteristikou invazivního taxonu je, že je schopen produkovat potomstvo v oblastech vzdálených od místa vysazení. Překročení bariér není nevratné, například může nastat změna podnebí, která nastaví nové podmínky, se kterými se musí nepůvodní druh vyrovnat (Richardson et al. 2000).

Blackburn et al. (2011) navrhli jednotný rámec pro biologické invaze, který zapracovává klíčové vlastnosti obou hlavních rámců invaze do jednoho konceptuálního modelu, který může být aplikován na všechny lidskou činností zprostředkované invaze. Jednotný rámec kombinuje předešlé koncepty založené na populačních i bariérových přístupech a poskytuje terminologii a kategorizace pro populace v různých fázích procesu invaze (Obr. 2).



Obr. 2 – Jednotný rámec pro biologické invaze. **A** – jedinci nejsou přemístěni mimo svůj původní areál; **B1** – jedinci přemístěni mimo svůj původní areál, v zajetí či karanténě; **B2** – jedinci přemístěni mimo svůj původní areál, podléhající kultivaci; **B3** – jedinci přemístění mimo svůj původní areál, přímo vypuštění do nového prostředí; **C0** – jedinci vypuštění do přírody (mimo kultivaci či zajetí) na lokalitách vypuštění, neschopni dlouhodobě odolávat novým podmínkám; **C1** – jedinci přežívající ve volné přírodě (mimo kultivaci či zajetí) na lokalitách vypuštění, bez reprodukce; **C2** – jedinci přežívající ve volné přírodě na lokalitách vypuštění, zaznamenána reprodukce, nevytváří soběstačné populace; **C3** – jedinci přežívající ve volné přírodě na lokalitách vypuštění, zaznamenána reprodukce, vytváří soběstačné populace; **D1** – soběstačné populace ve volné přírodě, někteří jedinci přežívají i v značné vzdálenosti od místa původního vysazení; **D2** – soběstačné populace ve volné přírodě, někteří jedinci přežívají a množí se i v značné vzdálenosti od místa vysazení; **E** – plně invazivní druh, jeho jedinci se šíří, přežívají a množí se na více lokalitách napříč širším či užším spektrem habitatů a velikostí areálu rozšíření. Bariéry (**barrier**), které nepůvodní taxon v procesu invaze překonává, jsou: geografické (**geography**), zajetí nebo kultivace (**captivity, cultivation**), podmínky potřebné pro přežití (**survival**), podmínky potřebné pro množení (**reproduction**), podmínky umožňující šíření (**dispersal**), další vlastnosti prostředí (**environment**) umožňující rychlý populační růst. Jednotlivé fáze invaze jsou: **transport**, zavlečení (**introduction**), naturalizace (etablování, **establishment**), šíření (**spread**). Způsoby opatření (**management**) proti negativním důsledkům invaze jsou: prevence (**prevention**), eradikace nepůvodních druhů (**eradication**), pozdržení (**containment**), zmírnění (**mitigation**). Terminologie (**terminology**) viz Tab. 1. (Převzato z Blackburn et al. 2011).

1.2 Modelování rozšíření druhů

Předpovědi pomocí dostupných ekologických dat by měly být prioritou při řešení otázek týkajících se invazí (Clark et al. 2001). Rozvoj dostupné výpočetní techniky a internetu s sebou přináší nové přístupy pro studium rozšíření druhů na Zemi v závislosti na vysvětlujících environmentálních proměnných (Kozak et al. 2008), které známe jako **modelování rozšíření druhů** (species distribution modelling, SDM). Obecně existují dva přístupy modelování výskytu taxonů. První je **mechanistický** přístup, kdy pomocí dat o fyziologii taxonu získaných v laboratorních podmínkách je možno určit oblasti, které splňují podmínky pro přežívání taxonu. Druhý přístup, **korelační**, je založený na míře závislosti pozorovaných výskytů s podmínkami na zájmovém území. Síla korelačních přístupů tkví zejména v predikci míst potenciálního výskytu, mechanistické modely naopak jsou lepší při vysvětlování distribuce a hojnosti (Kearney et Porter 2004). Možností jak použít korelační modely pro vysvětlení výskytu taxonu je spočítat podíl vysvětlujících proměnných prostředí na variabilitě v rozmístění jedinců v krajině (Kearney et Porter 2009). Korelační přístupy můžeme dále rozdělit na modelování pouze prostřednictvím proměnných klimatických (climate envelope modeling, **CEM**) a obecnější modelování pomocí širšího spektra proměnných prostředí (environmental niche modelling, **ENM**) (Rödder 2009). Korelační přístupy jsou navíc založeny na pozorování taxonu v přirozeném prostředí a tak, na rozdíl od mechanistických, zahrnují i vliv biotických interakcí na rozšíření druhu. Zde však může nastat problém při otázkách pro rozlišení abiotických a biotických vlivů (Soberón et Peterson 2005)

George Evelyn Hutchinson (1957) definoval niku:

„Uvažujme dvě nezávislé proměnné prostředí x_1 a x_2 , které mohou být měřeny podél ordinálních pravoúhlých souřadnic. Necht' hodnoty těchto proměnných limitující přežívání resp. rozmnožování druhu S_1 jsou x_1' a x_1'' pro x_1 a x_2' a x_2'' pro x_2 . Pokud je působení těchto dvou proměnných na druh nezávislé, pak plocha, která vymezuje možné přežívání druhu, je pravoúhelník s vrcholy x_1' , x_1'' , x_2' a x_2'' . Pokud je porušen předpoklad nezávislosti pak má plocha různý tvar. Pokud dále zavedeme n dalších proměnných do té doby, než popíšeme všechny ekologické jevy související s druhem S_1 , dostaneme $n -$ rozměrný prostor, ve kterém všechny body náležejí právě stavu prostředí,

ve kterém může druh S_1 existovat na dobu neurčitou. Tento prostor N_1 nazýváme fundamentální nikou druhu S_1 .“

To znamená, že fundamentální (základní) nika je kompletní soubor všech podmínek prostředí, za nichž je taxon schopen existovat. Soubor fundamentální niky nezahrnuje biotické interakce. Pozorované rozšíření a jeho vlastnosti jsou nazývány **realizovanou nikou** (Hutchinson 1957). Realizovaná nika zahrnuje právě interakce s ostatními taxony, bariéry pro šíření, dostupnost potravy a interakce s patogeny (Austin 2002, Townsend et al. 2010).

Proměnné, které niku charakterizují, je možné rozdělit do dvou tříd na základě prostorové škály, na které operují, a na základě zahrnutí vlivu kompetice. První, Grinelovskou třídu, tvoří základní proměnné bez zahrnutí interakcí (např. klima, geologické proměnné, geografické proměnné) (Grinnell 1917). Druhá třída, Eltonovská, zahrnuje právě biotické interakce a dynamiky zdrojů (Elton 1927 ex Soberón 2007). Grinelovská třída je využívána pro studium na větší geografické škále a je předmětem CEM. Protože výzkum Eltonovských tříd zahrnuje detailní terénní a případové studie, je obtížné zahrnovat je do analýz na větších geografických škálách (Araújo et Guisan 2006) a není předmětem CEM (Rödder 2009). Podmínky prostředí panující v oblastech pozorovaného rozšíření nemusí pokrývat celý rozsah niky taxonu (Tilman et al. 1994).

Pro korelační modelování výskytu druhu uvažujeme informace o rozšíření taxonu a podmínky, které panují na lokalitách výskytu. Tyto dále srovnáváme s podmínkami na ostatních lokalitách či územích. Z hlediska dat o rozšíření taxonu se můžeme dostat do tří situací, podle kterých volíme SDM přístupy v závislosti na množství záznamů o rozšíření, jejich kvality a účelu (Franklin 2010). Prvním případem je, pokud existují data o presenci i absenci (**presence - absence**) taxonu. Tehdy jsou nejčastěji užívány zobecněné lineární modely (GLM), zobecněné aditivní modely (GAM) nebo boosted regression trees (BRT) (Varela 2010). V případě, že jsou k dispozici data pouze o přítomnosti (**presence - only**) nabízí se výpočetní metody jako BIOCLIM, Mahalanobisovy vzdálenosti (sensu Farber et Kadmon 2003) či DOMAIN. Třetím případem jsou analýzy, které kromě přítomností zohledňují při kalibraci modelu celé zadané mapové vrstvy (**presence/background** přístup), zde je velmi výkonným algoritmem MaxEnt (Elith et al. 2006). Presence/background modely jsou odvozeným případem při znalosti pouze dat o přítomnosti (presence-only) (Elith et al. 2011). Existuje velká řada softwarů pro modelování rozšíření druhů a další ekologické uplatnění, některé z nich jsou vyjmenovány v následující tabulce (Tab. 2). V této práci

byla pro modelování rozšíření *Trachemys scripta* pozornost věnována BIOCLIMu a MaxEntu. Popis funkce obou přístupů je detailně rozpracován v metodice.

Tab 2. – Přehled softwarů užívaných pro modelování rozšíření druhů (species distribution modelling, SDM) (upraveno podle Franklin 2010).

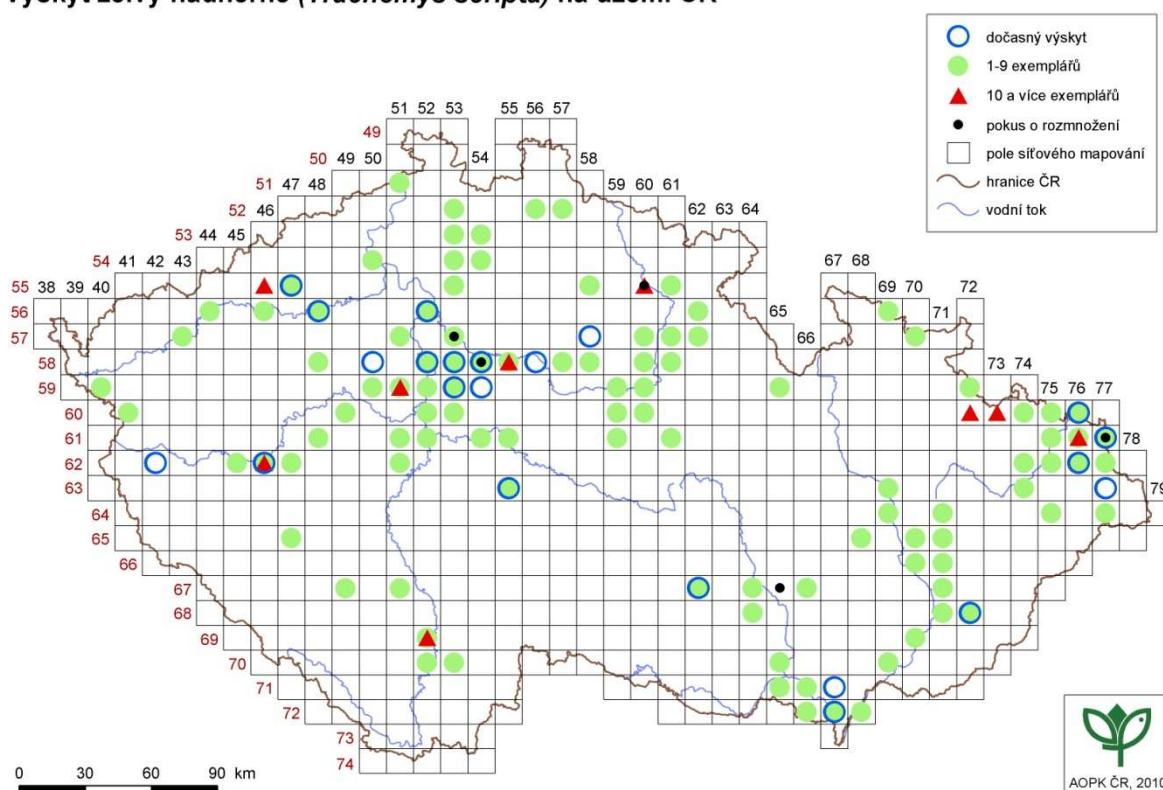
SOFTWARE	LITERATURA
BIOCLIM	Busby 1991
BIOMAPPER (ENFA)	Hirzel et al. 2002
DOMAIN	Carpenter et al. 1993
GARP	Stockwell et Peters 1999
GRASP	Lehmann et al. 2002
MaxEnt	Phillips et al. 2006
PRESENCE	MacKenzie et al. 2002
SAM	Rangel et al. 2006

1.3 Současný status *Trachemys scripta* v České republice

Následující podkapitola je upravenou verzí textu Brejcha J. Želva nádherná – aktuální status druhu v České republice. In Moravec J. (ed.): Fauna ČR, Plazi. Academia, Praha (in press.)

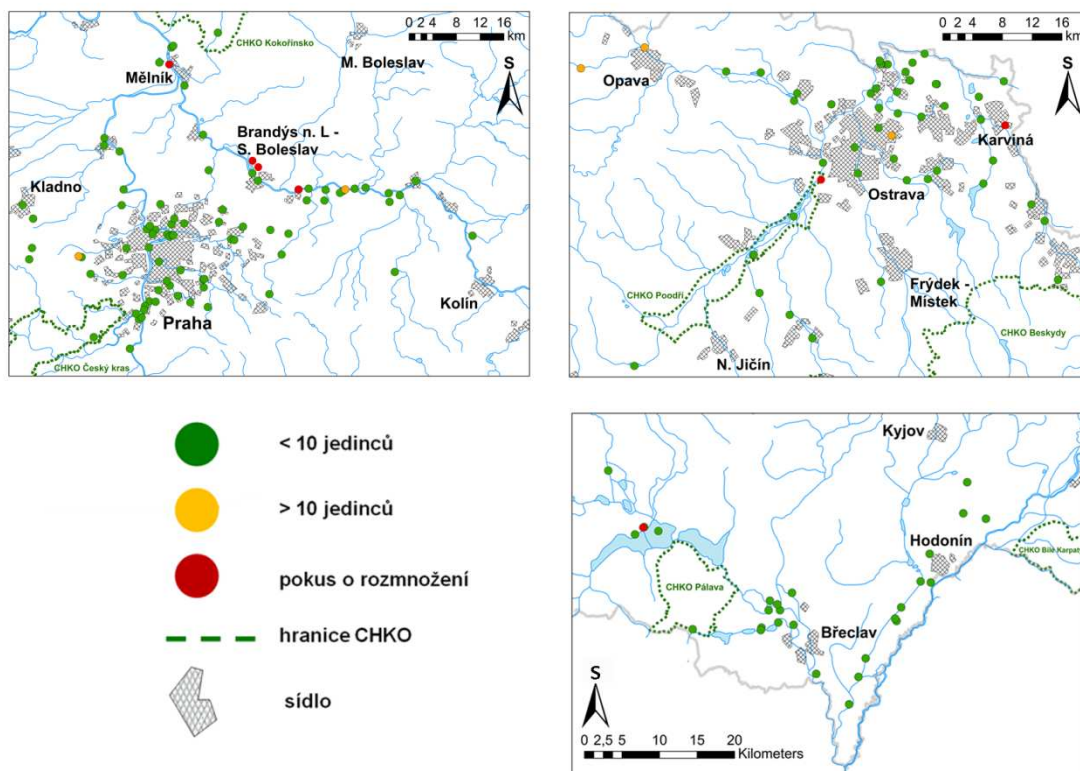
Podrobné studium výskytu želvy nádherné (*Trachemys scripta*) v České republice ukázalo, že nálezy tohoto nepůvodního druhu jsou na našem území od roku 2001 daleko početnější než dříve (Moravec et Široký 2006, Šuhaj et al. 2006, Šandera et Zicha 2007, Šandera et al. 2008, Brejcha et al. 2009, Brejcha et al. 2010, Miller et al. 2011). Nálezy z let 2002-2011 je obsazeno 129 (19,1 %) kvadrátů mapovací sítě KFME (obsazení kvadrátů platné v roce 2010 viz Obr. 3). O úspěšném rozmnožení želvy nádherné v přírodních podmínkách naší republiky nemáme však dosud žádné přímé důkazy. Nárůst počtu záznamů je tak zřejmě výsledkem souhry častějšího vysazování dospělých jedinců a důkladnějšího zaznamenávání jejich výskytu po roce 2001.

Výskyt želvy nádherné (*Trachemys scripta*) na území ČR



Obr. 3 – Záznamy *Trachemys scripta* zanesené do kvadrátové mapy KFME do konce roku 2010 (Brejcha, Jeřábková, Miller, Šandera nepubl.).

Podle dosud publikovaných zpráv máme o výskytu želvy nádherné na našem území k dispozici celkem 352 záznamů (Moravec et Široký 2003, Šuhaj et al. 2003, 2006, Šandera et Zicha 2007, Brejcha et al. 2009, Brejcha et al. 2010, Miller et al. 2011 in press.). Hlavními oblastmi výskytu druhu jsou Praha, střední Polabí, jižní Morava a Ostravsko (Obr. 4).



Obr. 4 – Hlavní oblasti výskytu *Trachemys scripta* v ČR.

Naprostá většina záznamů (celkem 289) se týká pozorování samostatných jedinců, případně skupin do deseti kusů na lokalitě. Deset a více jedinců na jedné lokalitě bylo pozorováno ve dvanácti případech. Pro deset záznamů byla vytvořena samostatná kategorie „pokus o rozmnožení“. Zbytek záznamů tvořily záznamy dočasného výskytu. Kategorie pokus o rozmnožení zahrnuje pozorování kladení vajec či nálezy juvenilních jedinců na místech, kde jsou želvy celoročně ve venkovních výběžích či ve volné přírodě. Žádný z těchto pokusů o rozmnožení, kromě jednoho hlášení juvenilních jedinců, však nebyl doložen fotografií. Bohužel jen málo snůšek bylo opakovaně kontrolováno a v žádném případě nebyl celý proces inkubace vajíček sledován. Možnost úspěšného rozmnožení želvy nádherné ve volné přírodě České republiky nejsme tedy prozatím schopni potvrdit ani definitivně vyvrátit.

Záznamy pokusů o rozmnožení pocházejí z lokalit Brněnská přehrada, Grado u Čelákovic, okolí Prahy, Proboštské jezero u Staré Boleslavi, nádrž Rašelina u Staré Boleslavi, kanál Sidonka u Mělníka, Stanice přírodovědců Karviná, Vyškovické tůně v Ostravě a ZOO Dvůr Králové. Dosud nepublikované pokusy o rozmnožení jsou dále hlášeny z lokalit PP Betlém (Šebela in verb.), obce Pátek u Poděbrad (Jeřábková in litt.,

Vaňek in verb.), ZOO Děčín (Chadima in litt.), ZOO Ohrada u Hluboké nad Vltavou (Kössl R. et Kubát I. in verb.) a ze ZOO Plzeň (Konáš in verb.). Jednotlivé nejlépe dokumentované případy jsou popsány níže.

V roce 2008 M. Kodera (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů) popsal v dopise Z. Vitáčkovi (Vlastivědné muzeum a galerie v České Lípě) pozorování kladení želvy nádherné na lokalitě Proboštské jezero u Staré Boleslavi. Dne 10. 8. 2008 kolem devatenácté hodiny zde pozoroval 250 mm velkou samici želvy nádherné na hlinitopísčité cestě asi 40 m od břehu jezera, která právě dokončila snůšku vajec. Povrch pod ní byl vlhký a ušlapaný, asi o jeden metr dále bylo další místo s vlhkým a ušlapaným povrchem. Dne 14. 8. pozorovatel odkryl 10 cm silnou vrstvu ztvrdlé půdy a našel v „hnízdě“ 5 vajec. Dne 24. 8. proběhla poslední v dopise popisovaná kontrola „hnízda“. Při odstraňování zeminy se jedno vejce rozbilo a neobsahovalo žádný viditelný zárodek. Ostatní vejce byla v pořádku. „Hnízdo“ bylo navštíveno ještě v průběhu září a října, vejce otevřena, avšak žádné nebylo oplozené (Kodera in verb.). Důležitým zjištěním je, že po celou dobu sledování nedošlo ke zničení hnízda přirozenými predátory.

V roce 2012 byly zaznamenány snůšky vajec želvy nádherné v ZOO Děčín. Želvy zde byly přes zimu chovány ve vnitřních prostorách. Ke snášení došlo 30. 7. ve venkovním výběhu asi 6 m od břehu chovné nádrže. Umělá inkubace snůšky se nezdařila, protože vejce nebyla oplozená (Fabrnochová in verb.). V témže roce snášely želvy vajíčka také v Záchrané stanici pro zraněné živočichy v Pátku. V druhém týdnu července zde nakladly vejce celkem tři samice, líhnutí však pozorováno nebylo (Vaňek in verb.).

Cenná je informace N. Velenské (ZOO Praha) o pozorování samice želvy nádherné, která snesla 8. 7. 2009 v blízkosti Prahy deset vajec (informace o přímém pozorovateli ani přesné lokalitě nebyly zaznamenány). Želva i snůška byly následně dopraveny do pražské zoologické zahrady, kde byla vejce inkubována při teplotě 25,5°C a po 95,5 dne došlo k líhnutí devíti mláďat. Jednalo se o první záznam kladení oplozených vajec ve volné přírodě České republiky. Samice želv jsou schopné dlouhodobě uchovávat sperma ve stěně vejcovodu uvnitř kanálků vylučujících albumin (viz Gist et Jones 1989, Pearse et Avise 2001). Tato samice tedy mohla být oplozena ještě před vypuštěním do volné přírody.

Pravidelné snůšky vajíček želvy nádherné byly dokumentovány rovněž v Zoologické zahradě Dvůr Králové nad Labem. Želvy jsou zde chovány ve venkovních

výběžích po celý rok. Snůšky se objevují v různých substrátech, na rozličných místech areálu ZOO i v přilehlých zahradách. Vlastní kladení vajíček bylo pozorováno v prvním (r. 2009) a posledním (r. 2011) týdnu června. Vejce byla oplozená, líhnutí ale pozorováno nebylo. Pravděpodobným důvodem byl nedostatečný počet teplých dní potřebných pro zdárnou inkubaci (Hajnyš in litt.). Podle některých informací jsou želvy nádherné schopny klást vajíčka v našich podmínkách i dříve. Například v roce 2007 pozorovali pracovníci povodí Moravy na Brněnské přehradě, naproti hradu Veveří, snášejší želvy nádherné již v květnu (Vítek in verb.).

Přesto, že úspěšná přirozená inkubace vajíček želvy nádherné nebyla na území České republiky dosud jednoznačně prokázána, máme k dispozici několik záznamů o pozorování juvenilních jedinců. Na lokalitě Grado u Čelákovic bylo v září 2009 nalezené uhynulé mládě o délce karapaxu 3,5 cm. Jedná se o jediný fotograficky doložený záznam juvenilního jedince ve volné přírodě České republiky. Nalezený jedinec byl větší než mláďata zaznamenaná například ve Slovinsku (Vamberger et al. 2012) a chyběla mu rovněž pupeční jizva na plastronu. Na fotografii vypreparovaného krunýře je patrný roční přírůstek (Obr. 5). Teoreticky by se mohlo jednat o v přírodě vylíhnutého a přezimujícího jednoletého jedince, jednoznačné důkazy pro takové tvrzení však chybí. Mohlo se totiž jednat i o úmyslně vypuštěného juvenilního jedince. Vypreparovaný krunýř je v soukromé sbírce D. Macháčka. Během opakovaných vlastních výzkumů byla na lokalitě Grado pozorována pouze jedna dospělá samice. V minulosti se zde ale vyskytovalo želv více (Kalvoda in verb.).



Obr. 5 – Vypreparovaný krunýř mláděte *Trachemys scripta* nalezený na lokalitě Grado. Foto Martin Šandera.

V roce 2005 bylo pozorováno deset juvenilních jedinců v přístavišti na Brněnské přehradě (Zajíček in verb., fotografická dokumentace chybí).

V letech 2005 a 2006 byly v hromadě kompostu nalezeny zbytky snůšek na lokalitě Vyškovické tůně v Ostravě (Karásek in litt., fotografická dokumentace chybí). Nález je tak obtížné hodnotit a nelze vyloučit záměnu se snůškou vajíček užovky obojkové (*Natrix natrix*, Linnaeus, 1758). V roce 2010 Karásek údajně pozoroval čerstvě vylíhlá mláďata v přilehlých rybnících, doklady však opět chybí. V roce 2013 L. Kopec pozoroval na lokalitě pouze dvě dospělé samice *Trachemys scripta* (Kopec in litt.).

Vyhřívající se juvenilní jedinec želvy nádherné o velikosti kovové padesátikoruny byl údajně pozorován anonymním rybářem na vodní vegetaci v kanálu Sidonka u města Mělník (Frolík in litt.). Lokalita byla toho samého roku prozkoumána, daný jedinec znovu pozorován nebyl. V roce 2012 zde bylo zaznamenáno pět adultních želv vyhřívajících se na padlém kmeni ve vodě (Sýkora in verb.).

Výše uvedené záznamy ukazují, že kladoucí želvy nádherné byly na našem území pozorovány především v období od června do začátku srpna. V nejteplejších oblastech pak může kladení nastat již v květnu.

Dosavadní poznatky tedy naznačují, že pravidelné líhnutí mláďat želvy nádherné ze snůšek kladených v naší přírodě je při stávajících teplotních podmínkách nepravděpodobné. Neznamena to ovšem, že některou mimořádnou sezónu ke zdárné inkubaci vajíček nedojde. Introdukce a úniky z chovů jsou tedy majoritním zdrojem volně žijících jedinců želvy nádherné na našem území. *Trachemys scripta* lze tedy u nás označit jako přechodně zavlečený druh (casual species) ve fázi etablování.

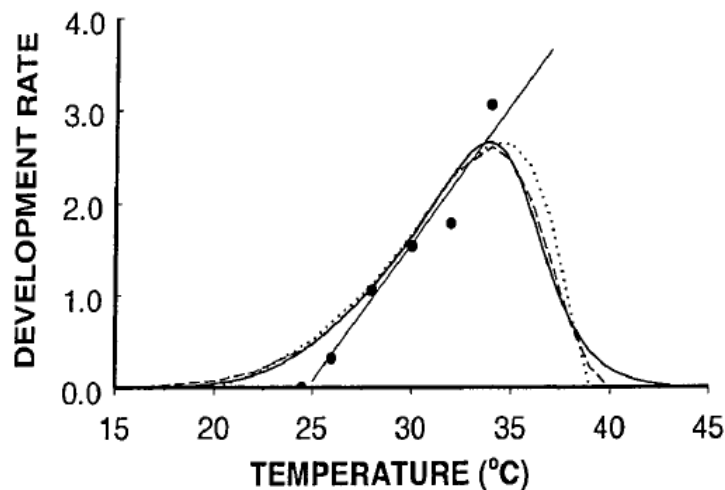
1.4 Teplotní limity pro inkubaci vajec

Chemické reakce zvyšují svou rychlost reakce při zvýšení teploty (např. Snyder 1911). Ludwig (1928) pak experimentálně ověřil platnost tohoto fenoménu i pro rychlost vývoje (RV, developmental rate) živočichů, jež je právě úzce spjata s rychlostmi reakcí probíhajících uvnitř organismu, a ukázal, že je tento vztah při konstantních podmínkách lineární.

Protože jsou želvy ektotermní živočichové, je zrání folikulů závislé na venkovní teplotě, podobně jako inkubace vajec či rychlost jejich metabolismu (Rollinson et al.

2012). Prvním předpokladem úspěšné produkce vajíček u *Trachemys scripta* na území ČR je tedy potřebné množství tepla (denní stupně, fyziologický čas, daydegrees) potřebného pro vývoj folikulu. Obdobně i pro dokončení inkubace vajíček je potřebná suma efektivních teplot (SET, Sum of effective temperatures) nacházející se nad spodním teplotním prahem vývoje (SPV, LDT, low developmental threshold) zárodků (Jarošík et al. 2004). Obě veličiny je možné získat pomocí lineární regrese vynesáním rychlosti vývoje proti teplotě (Jarošík et al. 2002).

Konstantní a fluktuující teploty mají rozdílný vliv na průběh a výsledek inkubace (Les et al. 2007). Při fluktuujících teplotních podmínkách je závislost rychlosti vývoje na teplotě lineární, pouze pokud se teplota pohybuje uvnitř optimálního teplotního rozsahu pro vývoj (optimal developmental range, ODR). Díky tomuto lineárnímu vztahu neměl fluktuující inkubační režim uvnitř ODR žádný nebo malý vliv na výsledek inkubace vajec *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) (Georges et al. 1994) (Obr. 6).



Obr. 6 – Graf závislosti rychlosti vývoje (Developmental rate) na teplotě (Temperature) pro *Carreta carreta*, při konstantních teplotách (přímka) a při fluktuujícím režimu (nelineární křivky) (Georges et al. 1994).

2. Cíle

Hlavním cílem této práce bylo vymežit oblasti výskytu *Trachemys scripta* v České republice na základě teplotních charakteristik.

- Vytvořit statistický model na základě dat o pozorování *Trachemys scripta* v ČR a porovnat ho v kontextu původního rozšíření
- Určit podíl vysvětlené variability závislosti výskytu *Trachemys scripta* v ČR a podmínek prostředí
- Porovnat pomocí fyziologických prahů pro inkubaci vajec teploty substrátu míst, kde je *Trachemys scripta* schopná reprodukce v Evropě s místy v ČR

3. Metodika

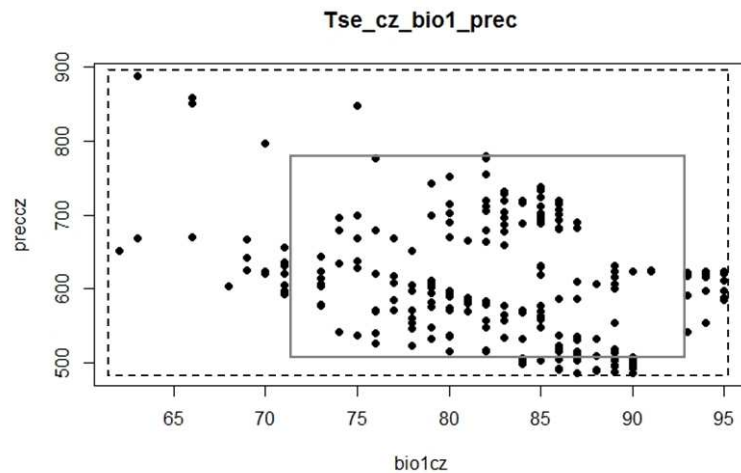
3.1 Modelování rozšíření *Trachemys scripta*

V této práci bylo k modelování rozšíření *Trachemys scripta* použito dvou výpočetních metod SDM (species distribution modeling, modelování rozšíření druhu) – BIOCLIMu a MaxEntu.

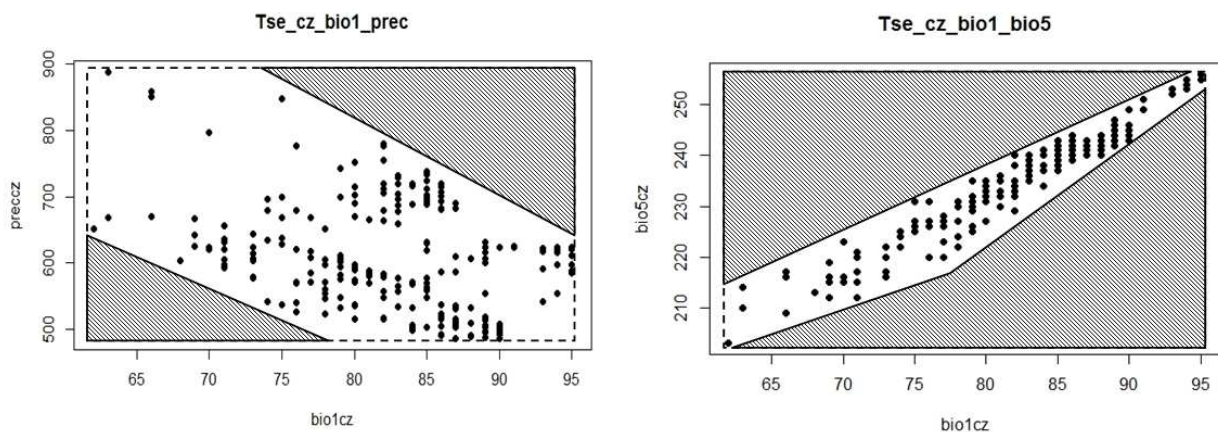
BIOCLIM je nejstarší a nejjednodušší (avšak i na interpretaci) metoda SDM (Varela 2013), která vyhodnocuje ovzorkovanou toleranci taxonu, pro každou proměnnou prostředí, pouze na základě přítomnosti druhu (Busby 1991). Metodu je s pomocí nástrojového balíčku **dismo** (Hijmans et al. 2013) možné aplikovat v prostředí R (R Development core team 2013).

Po vynesení vzájemných závislostí proměnných opíše BIOCLIM kolem hodnot myšlený pravoúhelník (Obr. 7), který je vymezen extrémními hodnotami souboru známých míst (Carpenter et al. 1993). Pokud jsou každé dvě proměnné prostředí na sobě nezávislé, odpovídá tento pravoúhelník Hutchinsonovu pojetí niky (viz výše v úvodu). Problémem ale je, že proměnné prostředí často navzájem nezávislé nejsou, což může do výpočtu zanášet chyby (Carpenter et al. 2003) (Obr. 8).

Algoritmus BIOCLIM počítá podobnost porovnáním hodnot proměnných prostředí na jakémkoliv místě zájmu s percentilovým rozložením hodnot na známých místech výskytu. Čím blíže padesátého percentilu (mediánu) hodnot míst výskytu, tím více je místo zájmu považováno za vhodné. Desátý percentil je hodnocen stejně jako devadesátý percentil (obdobně dvacátý a osmdesátý percentil atd.). Model dosahuje na místě zájmu hodnoty 1 pouze, pokud se hodnoty všech proměnných prostředí na místě zájmu rovnají mediánu hodnot prostředí míst výskytu, což se stává velmi zřídka. Hodnoty 0 dosahuje model pokaždé, když je hodnota alespoň jedné z proměnných prostředí na místě zájmu mimo rozsah hodnot prostředí míst výskytu (Hijmans et Elith 2013).



Obr. 7 – Hodnoty míst výskytu *Trachemys scripta* na lokalitách v ČR v závislosti na průměrné roční teplotě (bio1) a srážkách (preccz). Přerušovanou čarou je vyznačen model BIOCLIM, který zahrnuje 100% záznamů. Vsazený šedý obdélník vyznačuje jádrovou oblast blížící se více mediánu hodnot míst výskytu (při zobrazování do geografického prostoru tuto oblast vymezujeme pomocí reklasifikace původního modelu; viz dále v metodice).



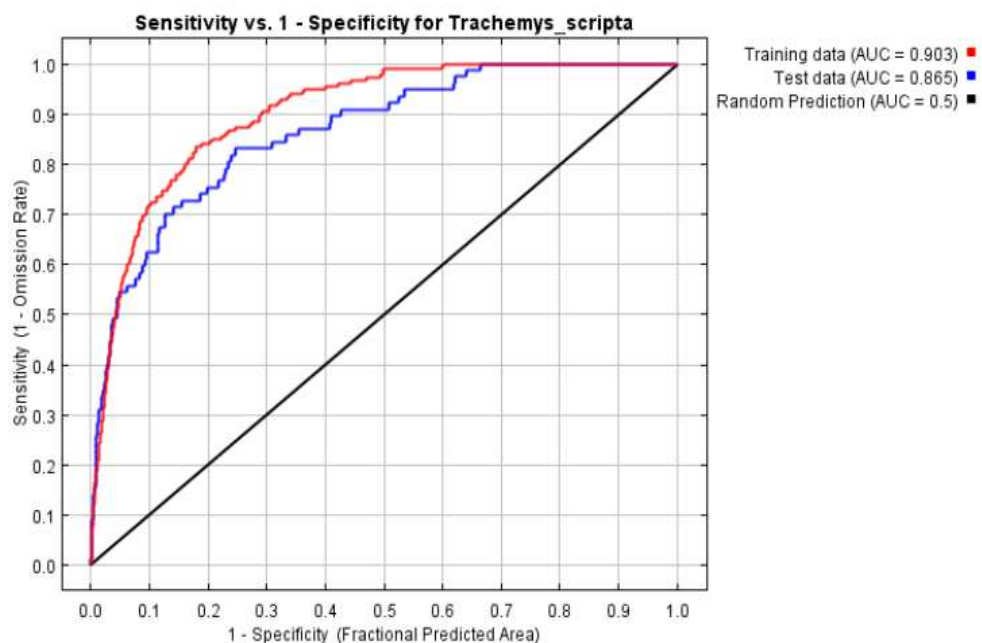
Obr. 8 – Čím více spolu jednotlivé proměnné prostředí korelují, tím větší je plocha modelu, která ve skutečnosti neobsahuje žádná data výskytu (šrafovaně). Například průměrná roční teplota (bio1cz) koreluje méně s průměrnými ročními srážkami (preccz) (vlevo) než s nejteplejší teplotou v nejteplejším měsíci (bio5cz) (vpravo). Model pak při predikci nadhodnocuje rozsah hodnot potenciálního výskytu.

Výhodou metody BIOCLIM je, že převádí jednoduchým způsobem informaci o podmínkách v místě výskytu do geografického zobrazení a umožňuje vyhledávat ten samý rozsah podmínek na libovolném území. Pro vysvětlení variability v rozmístění dat je však výhodnější použít MaxEnt, který se více zaměřuje na popis míst výskytu a umí

určit relativní zastoupení proměnných prostředí na vysvětlené variabilitě v rozmístění záznamů výskytu (Varela 2013).

MaxEnt je program pro modelování pravděpodobnosti výskytu georeferencovaného bodového jevu při znalosti presence a background typu dat na základě pravidla maximální entropie. MaxEnt odhaduje rozšíření druhu tak, že očekávaná hodnota každé proměnné prostředí vztažené k distribuci druhu je rovna empirickému průměru proměnné a Maxent testuje odchylky od tohoto předpokladu (Philips et al. 2006).

Hlavním výstupem vypovídajícím o kvalitě modelu je hodnota AUC (area under the curve) (Obr. 9), jež udává možnosti modelu rozlišit mezi oblastmi, kde je druh přítomen oproti těm, kde přítomen není. Hodnoty AUC se pohybují mezi 0 a 1, kdy 0,5 značí, že model nerozlišuje lépe než náhodný odhad a 1, že model popisuje lépe než náhoda. Pokud jsou hodnoty AUC větší než 0,9 model popisuje „velmi dobře“, pokud jsou větší než 0,8, popisuje „dobře“, pokud větší než 0,7, je „použitelný“ (Swets 1988). AUC je blízké svým statistickým významem Mann-Whitney U testu (Elith et al. 2006).



Obr. 9 – Za předpokladu, že případ může nabývat jen dvou hodnot (pozitivní a negativní výsledek), rozumíme sensitivitou (sensitivity) množinu všech pozitivních případů a specifitou (specificity) množinu všech negativních. Vyjádření (1- specifita) (osa x) bývá označováno jako míra falešně pozitivních výsledků, jejím vynesením proti sensitivitě (osa y) získáme ROC (receiver operating curve) křivku. AUC je plocha pod ROC křivkou.

MaxEnt se řadí mezi nejvýkonnější a nejstabilnější algoritmy mezi SDM vůbec (Elith et al. 2006). Je užíván v širokém spektru studií a biologických zaměření (Elith et al. 2011). Navíc Ficetola et al 2008 a Rödder 2009 analyzovali již některé aspekty nepůvodního rozšíření *Trachemys scripta* právě pomocí MaxEntu.

Záznamy výskytu

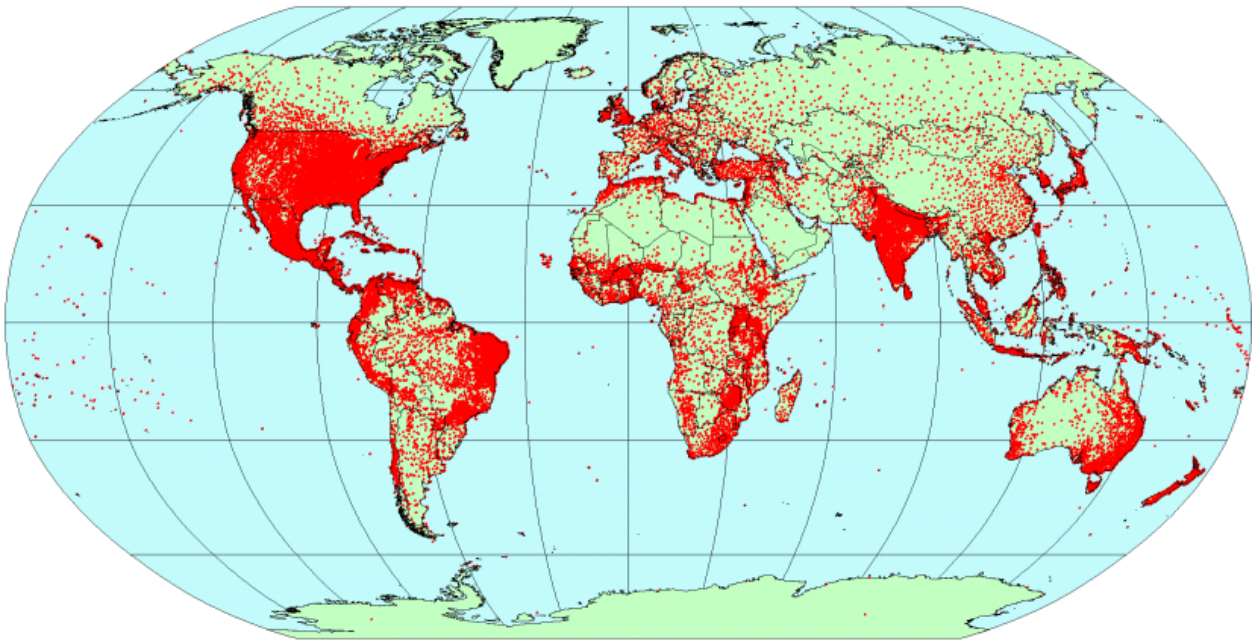
Záznamy výskytu *Trachemys scripta* na našem území pocházejí z publikovaných údajů (Moravec et Široký 2006, Šuhaj et al. 2006, Šandera et Zicha 2007, Šandera et al. 2008, Brejcha et al. 2009, Brejcha et al. 2010, Miller et al. 2011), které byly sesbírány na základě publikovaných, nepublikovaných dat, ústních sdělení a hlášení výskytu od široké veřejnosti. Veškeré údaje byly seřazeny do tabulky podle vzoru „Mapování výskytu obojživelníků a plazů“ na BioLibu (Šandera et Zicha 2007). Dále bylo jednotlivým záznamům přiřazeno pořadové číslo a tam, kde nebyla uvedena souřadnice GPS, byla dohledána na základě slovního popisu souřadnice přibližná pomocí www.mapy.cz a maps.google.com. Dalším zdrojem již georeferencovaných a administrátorem ověřených záznamů byla Nálezová databáze ochrany přírody (NDOP) Agentury ochrany přírody a krajiny ČR. Z výsledné tabulky byly zeměpisné souřadnice záznamů vyexportovány do .csv souboru ve formátu, který byl vyžadován dalším softwarem. Data byla georeferencována v průběhu vytváření databáze záznamů a souřadnice byly vedeny v geografickém souřadnicovém systému na geoidu WGS84. Správnost údajů byla kontrolována pomocí ArcMap 9.3 (ESRI 2008). Soubor záznamů výskytu připravený pro analýzi rozšíření *Trachemys scripta* v ČR měl 349 záznamů (Příloha 1).

Záznamy výskytu na území původního areálu rozšíření v USA jsou převzaty z Röddera (2009a), který je převzal z databází Global biodiversity information facility (GBIF) a HerpNet a připravil pro analýzy. Soubor záznamů výskytu *Trachemys scripta* v původním areálu rozšíření měl 1491 záznamů.

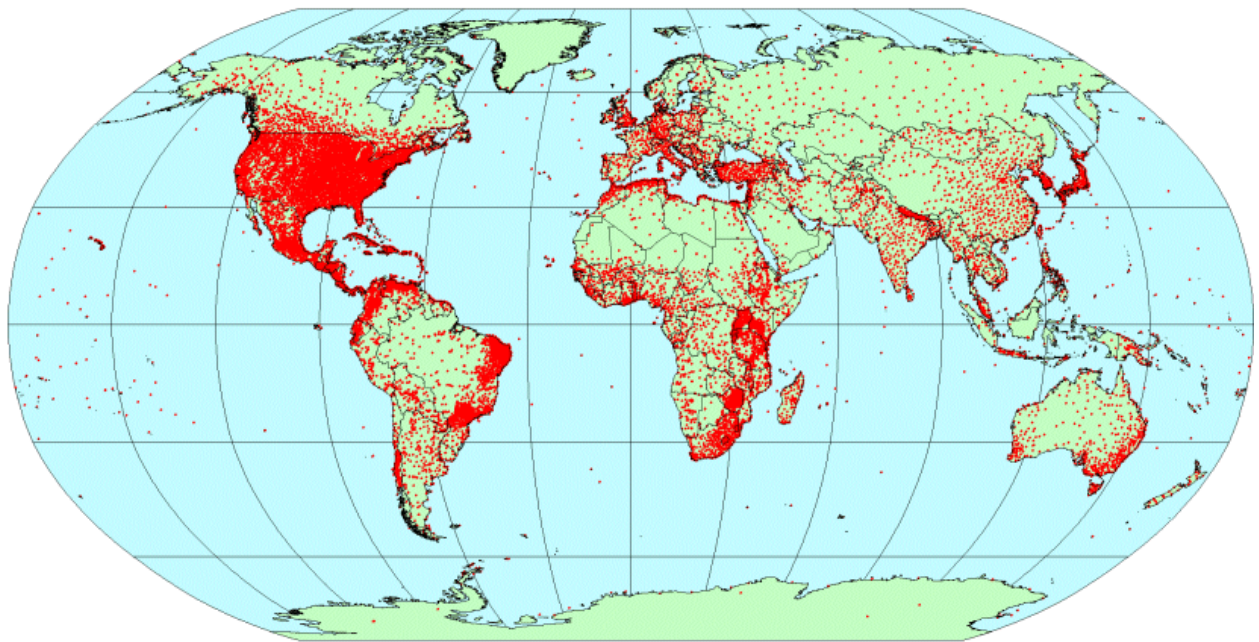
Reprezentace podmínek prostředí

Pro modelování rozšíření *Trachemys scripta* byla používána data z databáze Worldclim a data o působení lidské činnosti na krajinu (human footprint).

Klimatická data jsou rastry průměrů z let 1950-2000 a pochází z databáze **Worldclim**, verze 1.4, jsou založena na celosvětovém měření ze 47 554 stanic pro srážkové charakteristiky (Obr. 10) a 24 542, resp. 14 930 stanic pro teplotní charakteristiky (Obr. 11). Georeferencované mapy o velikosti pixelu jeden km² byly vytvořeny tenkoplátovou interpolací (thin-plate smoothing spline) při uvažování zeměpisné šířky, délky a nadmořské výšky (Hijmans et al. 2005). Databáze má čtyřístakrát větší rozlišení než dříve dostupná data (New et al. 2002) a byla odvozena z více měření z meteorologických stanic. Velké rozlišení ale neimplikuje nutně vyšší kvalitu dat pro celý datový soubor. Kvalita interpolovaných map se může lišit v závislosti na lokální proměnlivosti klimatu a kvalitě a hustotě měření (Hijmans et al. 2005).



Obr. 10 – Rozmístění 47 554 měřících stanic zohledněných při interpolaci srážkových charakteristik Worldclim (převzato z Hijmans et al. 2005).



Obr. 11 – Měřicí stanice (celkem 24 542 stanic) zohledněné při interpolaci teplotních charakteristik Worldclim (převzato z Hijmans et al. 2005).

Global Human Footprint Dataset je součástí projektu Last of the Wild, verze 2, 2005 (LWP-2). Human footprint je Index lidského vlivu (HII, Human Influence Index) normalizovaný na biomy a biogeografickou oblast světa (WCS et CIESIN 2005). HII je globální soubor dat o rozlišení jeden km², vytvořený na základě devíti proměnných: populační hustoty, využití krajiny (zastavěné plochy, noční světla, využití krajiny, pokryv krajiny), a dosažitelnosti lidmi (pobřeží, silnice, železnice, splavné řeky). Vrstvy byly převedeny do potřebného georeferencovaného formátu: - **.bil** pro BIOCLIM (Varela 2013); - **.asc** pro MaxEnt (Civiš in litt).

Pro BIOCLIM byly použity bioklimatické vrstvy Worldclim se zaměřením na teplotní charakteristiky. Byly to: **bio1** – průměrná roční teplota, **bio2** – průměr měsíčních rozpětí, **bio3** – izothermalita tzn. $(bio2/bio7)*100$, **bio 5** – maximální teplota v nejteplejším měsíci, **bio6** – minimální teplota v nejchladnějším měsíci, **bio 7** – roční teplotní rozsah tzn. $(bio5-bio6)$, **bio12 - prec** – průměrné roční srážky.

Tyto vrstvy byly vybrány tak, aby bylo možné popsat rozšíření *Trachemys scripta* na území ČR pouze na základě přírodních podmínek a aby do výsledků nebyl zanášen vliv opětovného vysazování želv.

Pro MaxEnt byla použita **alt** – nadmořská výška a k bioklimatickým charakteristikám (zde byly navíc ještě zahrnuty **bio8** – průměrná teplota nejvlhčí

čtvrtiny roku, **bio9** – průměrná teplota nejsušší čtvrtiny roku, **bio10** – průměrná teplota nejteplejší čtvrtiny roku, **bio11** – průměrná teplota nejchladnější čtvrtiny roku) byla přidána ještě vrstva **hf** – human footprint, tak aby bylo možné analyzovat podíl bioklimatických vrstev a lidského vlivu na současné rozšíření *Trachemys scripta*.

BIOCLIM

Model výskytu v ČR

Pro potřeby analýzy rozšíření druhu v programu R (R Development Core Team 2008) byly načteny potřebné knihovny (Hijmans et, Elith 2013, Varela 2013).

Před samotným modelováním bylo vzhledem k vzájemným korelacím bioklimatických vrstev potřeba vybrat vhodné proměnné pro analýzu. Proto jsem si vytvořil vektory hodnot jednotlivých bodů rozšíření želv na území ČR pro každou vrstvu a následně byly vyneseny všechny do grafů závislostí. Dále byla vytvořena matice Pearsonových korelačních koeficientů. Na základě této explorační analýzy byly vybrány dva soubory vrstev proměnných pro konstrukce modelů. První, **široký soubor**, zahrnoval vrstvy: **bio1**, **bio3**, **bio6**, **bio7**, **prec**. Druhý, **minimalistický soubor** zahrnoval pouze vrstvy **bio1** a **prec**.

Následovalo spuštění modelu BIOCLIM pro ČR pro každý soubor a zobrazení načtených výsledků do grafu. Výsledky každého modelu byly pak reklasifikovány - **reclass** (Obr. 7). **Reclass1** znamená, že pixely zobrazené v mapě mají od minus nekonečna do nuly (což jsou hodnoty mimo model) hodnotu nula, od nuly do plus nekonečna (resp. do jedné, což jsou všechny hodnoty modelu) hodnotu jedna. Takové vymezení nám říká, že na území druh buď je, nebo není, nehledě na to jak moc se blíží hodnoty modelu optimu druhu, resp. jak moc se hodnoty prostředí blíží mediánu hodnot záznamů rozšíření. **Reclass2** znamená, že hodnoty od minus nekonečna do 0,1 jsou nula a od 0,1 do plus nekonečna jsou hodnoty jedna. Toto vymezení zbavuje model odlehlých hodnot a ukazuje širší optimum taxonu. **Reclass3** je konzervativní reklasifikace, kde byla hodnota prahu přítomnosti a nepřítomnosti 0,5 (tedy od minus nekonečna do 0,5 je nula a od 0,5 do plus nekonečna nabývá model hodnot jedna). Po této reklasifikaci se v grafu zobrazí užší optimum druhu, ovšem model nezahrnuje velkou část míst, kde by druh potenciálně mohl žít. Hodnoty modelu v tomto případě by měly odpovídat jádrovým oblastem rozšíření druhu.

*Oblast původního rozšíření, predikce podmínek vhodných pro *Trachemys scripta* v Evropě a komparace se situací v ČR.*

Stejně jako na území ČR jsem použil pro modelování na původním území dva soubory proměnných (široký soubor a minimalistický soubor) pro modelování na původním území výskytu *Trachemys scripta* v USA. Následovalo spuštění BIOCLIM a zobrazení vrstev do grafu. Po srovnání obou výsledků byl model minimalistického souboru proměnných promítnut do podmínek Evropy, reklasifikován (reclass1, reclass2, reclass3 – stejně jako na území ČR) a zobrazen do grafů. Stejně jsem postupoval s promítnutím modelu minimalistického souboru proměnných načteném na datech z ČR do kontextu evropských podmínek. Z výsledků byla pro optické srovnání vytvořena sloučená mapa se zobrazením konzervativní reklasifikace modelu ČR (nepůvodního výskytu) a všech tří reklasifikací modelu USA (původního výskytu) v programu AdobePhotoshop 11.0.2.

MaxEnt

Pro analýzu MaxEnt jsem nejdříve pomocí programu ENMTools (Warren et al. 2010) spočítal vzájemné korelace celých vrstev prostředí pomocí Pearsonových koeficientů. Dále jsem odstranil duplicitní záznamy rozšíření *Trachemys scripta* na našem území v každém pixelu, výsledný soubor měl 312 záznamů. Vybral jsem několik souborů vrstev prostředí pro následné vytvoření modelů. Byly to: **m0** – bio1, bio2, bio3, bio4, bio5, bio6, bio7, bio12 – prec, alt, hf; **m1** – bio1, bio2, bio3, bio5, bio6, bio7, bio12 – prec, alt, hf; **m2** – bio1, bio3, bio6, bio7, bio12 – prec, alt, hf; **m20** – bio1, bio3, bio6, bio 7, bio12 – prec, hf; **m3** – bio1, bio12 – prec, alt, hf; **m4** – bio12-prec, alt, hf; **m5** – bio1, bio12 – prec, hf; **m6** – bio1, bio2, bio3, bio4, bio5, bio6, bio7, bio8, bio9, bio10, bio11, prec, alt, hf.

Pomocí ArcMap jsem vytvořil soubor 330 náhodných bodů na našem území a otestoval MaxEntem pro každý výběr, abych zjistil, jestli území nevykazuje samo o sobě nějakou patrnost, která by mohla zkreslovat výsledky a znesnadnit jejich interpretaci. V programu MaxEnt jsem vytvořil modely pro každý z výběrů vrstev proměnných a následně jsem opět pomocí programu ENMTool porovnal modely mezi sebou na základě AICc (corrected Akaike information criterion) a BIC (Bayesian information criterion) (Warren et al. 2010). Všechny výsledné modely jsou logistickým výstupem algoritmu MaxEnt (Rödder 2009).

3.3 Měření teploty substrátu

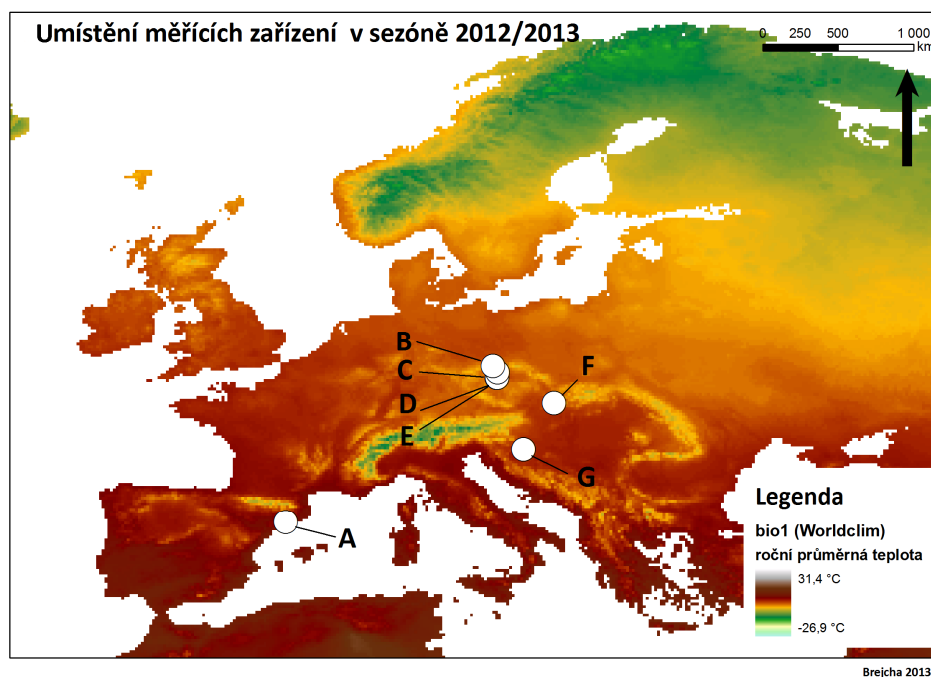
Umístění měřících zařízení

Měření probíhalo teplotními datalogery COMET L0121 a COMET S0121. V USA ve státě Illinois měla hnízda *Trachemys scripta* hloubku 11,5cm – 16,7cm (Tucker 1997). Měřicí sondy byly zakopány 12cm pod povrchem. V případě, že nebylo známo místo dřívějšího kladení želv, byly přístroje umisťovány dle místních podmínek. V roce 2011 měření probíhalo z technických důvodů pouze od půlky července do konce září pouze na lokalitách v České republice.

Lokality v roce 2011 byly vybrány na základě hlášení o pokusu o rozmnožení (Brejcha, Brejcha, Miller) a dále byly vybrány další lokality, kde byl zaznamenán výskyt *Trachemys scripta*. Byly to: **Botanická zahrada UK** (botanka2011; 50.071078N, 14.421176E) na Slupi v Praze 2, kde se vyskytovaly želvy v okrasném jezírku. V roce 2011 byly teploty měřeny v osluněném růžovém záhonu u budovy katedry botaniky. **Děčínská ZOO** (decin2011; 50.779248N, 14.198043E) na Pastýřské stěně, kde byla skupina želv, které sem donesli návštěvníci. Datalogger byl umístěný v čele umělého kladiště pro vodní ptactvo. V **Plzeňské ZOO** byly umístěny dva datalogery (plzensk2011 a plzenst2011; 49.758182N, 13.355322E) ve výběhu s rybníčkem, kde jsou drženy odchycené či donesené *Trachemys scripta*. **Muzeum přírody Český ráj** v Prachově (prachov2011; 50.465117N, 15.305815E), kde je ohrazená nádrž se želvami v zahradě muzea. **Proboštské jezero** u Staré Boleslavi (probostak2011; 50.215195N, 14.649450E), kde Kodera (in litt.) pozoroval snášení *Trachemys scripta* ve volné přírodě. **Vinice Lobkowicz ve Vehlovicích** u Mělníka (vehlovice2011; 50.390480N, 14.462144E), kde byly želvy pozorovány v přilehlém slepém rameni Labe a byla chycena samice *Trachemys scripta* (Frolík in Brejcha et al. 2010).

Po pilotním měření v roce 2011 byly datalogery rozmístěny v roce 2012 jen na některé z českých lokalit, další byly rozmístěny na místa, kde bylo pozorováno kladení a úspěšná inkubace byla buď v minulosti pozorovaná či byla vysoce pravděpodobná (Obr. 12). Jednalo se o lokality: **Botanická zahrada UK** na Slupi v Praze 2, kde byl však datalogger oproti roku 2011 přemístěn na nejvíce osluněné místo areálu (Procházková in verb.) (botanka; 50.070610N, 14.421389E). **Vinice Grébovka** (grebovka; 50.069113N, 14.446310E) na Praze 2. *Trachemys scripta* byla pozorována v potoku

Botič (Rydlo in Brejcha et al. 2010) poblíž lokality měření. **Vinice Lobkowicz ve Vehlovicích** (vehlovice; 50.390480N, 14.462144E). **ZOO Děčín** (decin; 50.779248N, 14.198043E). Další lokalitou bylo, **Centre de Recuperació d'Amfibis i Rèptils de Catalunya** (crarc; 41.497768N, 1.814125E) ve městě Masquefa v Katalánsku, kde se mláďata *Trachemys scripta* pravidelně líhnou. V **ZOO Zagreb** v Chorvatsku (zagreb; 45.821465N, 16.021183E) se nachází velká skupina jedinců *Trachemys scripta*, kteří zde snášejí vejce, avšak do současné chvíle chyběly důkazy o úspěšnosti rozmnožování. Okolí lokality tvoří městský park Maksimir s hojností vodní ploch. V **Piešťanech** (piestany; 48.585981N, 17.843020E) na Slovensku byl datalogger umístěn na břehu slepého ramene řeky Váh, do něž ústí přívod teplé vody z místních léčebných pramenů. Eva Bóriková (Vráblová 2005) zde provedla během své diplomové práce monitoring *Trachemys scripta*, které se zde hojně vyskytují a vyslovila hypotézu, že se zde želvy rozmnožují. V době položení dataloggeru v únoru 2012 byla teplota vzduchu -18°C, avšak voda nebyla zmrzlá a v některých nádržích uprostřed města byli aktivní jedinci.



Obr. 12 – Rozmístění teplotních dataloggerů v sezóně 2012/2013 na lokalitách: **A** – Centre de Recuperació d'Amfibis i Rèptils de Catalunya, Masquefa (**crarc**); **B** – ZOO Děčín (**decin**); **C** – Vinice Lobkowicz ve Vehlovicích (**vehlovice**); **D** – Botanická zahrada UK (**botanka**); **E** – Vinice Grébovka (**grebovka**); **F** – Piešťany (**piestany**); **G** – ZOO Zagreb (**zagreb**). Podkladová mapa vyjadřuje průměrnou roční teplotu v oblasti (rozlišení 10 x 10km) z databáze Worldclim (Hijmans et al. 2005).

Výpočet fyziologického času

Údaje o inkubačních teplotách a délce inkubace *Trachemys scripta* byly shromážděny na základě publikovaných (Gvoždík 2003, Gvoždík 2005, Les et al. 2007, Les et al. 2009) a nepublikovaných záznamů členů Klubu chovatelů želv (KCHŽ).

Prvním krokem ke konstrukci modelů vývoje je transformace dat o době trvání inkubace na jim odpovídající hodnoty rychlosti vývoje. Lineární přístup nám pak dále umožňuje (bez nutné znalosti jiných proměnných, než doba trvání vývoje při určité teplotě) vypočítat dvě myšlené konstanty. SPV (spodní práh vývoje, T_0 , LDL, low developmental threshold) je teplota, pod kterou je vývoj zastaven a SET (suma efektivních teplot, sum of effective temperatures) je suma teplot potřebná pro dokončení vývojové fáze (v našem případě inkubace) (Jarošík et al. 2002) (Obr. 13). Při znalosti těchto dvou konstant jsme schopni z naměřených hodnot v přírodních podmínkách určit, zda suma teplot nad SPV dosáhla za dobu měření SET a zda je tedy inkubace v určité lokalitě a určitých podmínkách možná. Graficky je SPV hodnota, při které přímka závislosti rychlosti vývoje na teplotě protíná osu x.

$$\boxed{RD = a + bt,}$$
$$\boxed{LDT = -\frac{a}{b}}$$
$$\boxed{SET = \frac{1}{b}}$$

Obr. 13 – Pokud je závislost rychlosti vývoje (RD) na teplotě (t) reprezentována lineární funkcí, můžeme vyjádřit pomocí koeficientů rovnice této funkce spodní práh vývoje (LDT) a teplo potřebné pro dokončení vývojového stádia (sumu efektivních teplot, SET) (upraveno podle Jarošík et al. 2002).

Porovnání naměřených výsledků

Z naměřených hodnot byly spočítány denní průměrné teploty a z nich vypočteny sumy nad 17°C pro každou z lokalit v termínech: 16. 7. – 30. 9. pro měření z roku 2011 i roku 2012; 1. 4. – 30. 9. a 1. 7. – 30. 9. pro měření z roku 2012. Pro měření z roku 2012 byla počítána pro každý z termínů ještě suma nad 17°C mimo dny kdy teplota přesáhla 32°C (což je 1°C nad horní hranicí optimálního teplotního rozpětí (ODR) – Les et al. 2005). Dále bylo pro každou lokalitu z roku 2012 vypočteno 6 bioklimatických teplotních charakteristik (bio1, bio2, bio3, bio5, bio6, bio7), které byly porovnány párovým t-testem s hodnotami, které mají lokality pro stejné proměnné ve vrstvách Worldclim.

4. Výsledky

Výsledkem modelování rozšíření *Trachemys scripta* metodou BIOCLIM jsou zobrazení modelu a jejich reklasifikace (Obrazové tabule 4 – 10). Výsledkem modelování rozšíření *Trachemys scripta* na území ČR metodou MaxEnt jsou modely, jejich charakteristiky a mapy potenciálního výskytu (Obr. tab. 11 – 13). Výsledky z měření teplot substrátu na snůškových lokalitách jsou sumy teplot nad vypočteným fyziologickým prahem vývoje (Tab. 6) a teplotní charakteristiky lokalit měření (Tab. 7).

4.1 Modelování rozšíření *Trachemys scripta*

Explorační analýza záznamů výskytu a podmínek prostředí

Výsledkem explorační analýzy pro BIOCLIM jsou: tabule bodů záznamů výskytu v prostředí v ČR (Obr. tab. 1) i USA (Obr. tab. 2), grafy vzájemných závislostí jednotlivých proměnných prostředí pro body výskytu v ČR (Příloha2), tabulka Pearsonových korelačních koeficientů jednotlivých hodnot prostředí pro body výskytu v ČR (Tab. 3).

Tab. 3 – Tabulka Pearsonových korelačních koeficientů hodnot prostředí pro body výskytu v ČR.

	bio1	bio2	bio3	bio5	bio6	bio7	prec	hf
bio1	1	0.702	0.53	0.97	0.64	0.523	-0.387	0.07
bio2	0.701	1	0.727	0.831	0.178	0.767	0.153	0.015
bio3	0.53	0.727	1	0.573	0.559	0.153	-0.225	0.073
bio5	0.97	0.831	0.573	1	0.506	0.671	-0.223	43
bio6	0.64	0.178	0.559	0.506	1	-0.3	-0.829	0.127
bio7	0.523	0.767	0.153	0.671	-0.3	1	0.466	-0.061
prec	-0.387	0.154	-0.225	-0.223	-0.829	0.466	1	-0.132
hf	0.07	0.016	0.073	0.043	0.12	-0.061	-0.132	1

Explorační analýza před modelováním v programu MaxEnt ukázala, že modely sestavené na náhodných bodech (Obr. tab. 3) na území ČR nepredikují přítomnost lépe než náhoda (AUC=0,564 – 0,654). Dalším výsledkem explorace dat je tabulka Pearsonových korelačních koeficientů podkladových (background) vrstev prostředí (Tab. 4).

Tab. 4 – Tabulka Pearsonových korelačních koeficientů celých podkladových vrstev prostředí ČR.

	alt	bio1	bio2	bio3	bio4	bio5	bio6	bio7	hf	prec	bio8	bio9	bio10	bio11
alt	1	-0.943	-0.223	0.14	-0.584	-0.888	-0.821	-0.422	-0.455	0.841	-0.929	-0.669	-0.935	-0.871
bio1	0	1	0.402	0.01	0.608	0.965	0.829	0.516	0.411	-0.743	0.972	0.719	0.987	0.929
bio2	0	0	1	0.61	0.538	0.58	-0.003	0.79	0.115	0.108	0.455	0.254	0.459	0.235
bio3	0	0	0	1	-0.296	0.053	0.058	0.017	0.011	0.368	-0.027	0.194	-0.034	0.157
bio4	0	0	0	0	1	0.759	0.106	0.928	0.282	-0.409	0.708	0.231	0.722	0.275
bio5	0	0	0	0	0	1	0.676	0.712	0.363	-0.652	0.974	0.649	0.988	0.823
bio6	0	0	0	0	0	0	1	-0.035	0.407	-0.746	0.738	0.739	0.747	0.963
bio7	0	0	0	0	0	0	0	1	0.194	-0.174	0.618	0.177	0.629	0.192
hf	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-0.379	0.4	0.127	0.402	0.404
prec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-0.724	-0.458	-0.726	-0.713
bio8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.648	0.985	0.853
bio9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.673	0.763
bio10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.865
bio11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

BIOCLIM

Model výskytu v ČR

Výsledky modelů výskytu *Trachemys scripta* v ČR postavených na širokém (Obr. tab. 4) a minimalistickém souboru (Obr. tab. 5) vrstev proměnných se nelišily jádrovými oblastmi (reclass3). Model širokého výběru na našem území vymezil oblasti konzervativněji, avšak ne odlišně. Lze tedy geograficky vymezit klimatický prostor v ČR zaznamenaných výskytů *Trachemys scripta* kvalitně i na základě základních proměnných prostředí (bio1 a prec). Oblasti, které byly nejbližší mediánu hodnot (reclass3) záznamů výskytu jsou Praha, střední Polabí, jižní Morava a střední Pomoraví.

Oblast původního rozšíření

Výsledky modelů původního rozšíření při širokém (Obr. tab. 6) i minimalistickém výběru (Obr. tab. 7) proměnných se výrazně nelišily. Oblasti nejbližší mediánu hodnot (reclass3) odpovídají centřům rozšíření jednotlivých poddruhů *Trachemys scripta*.

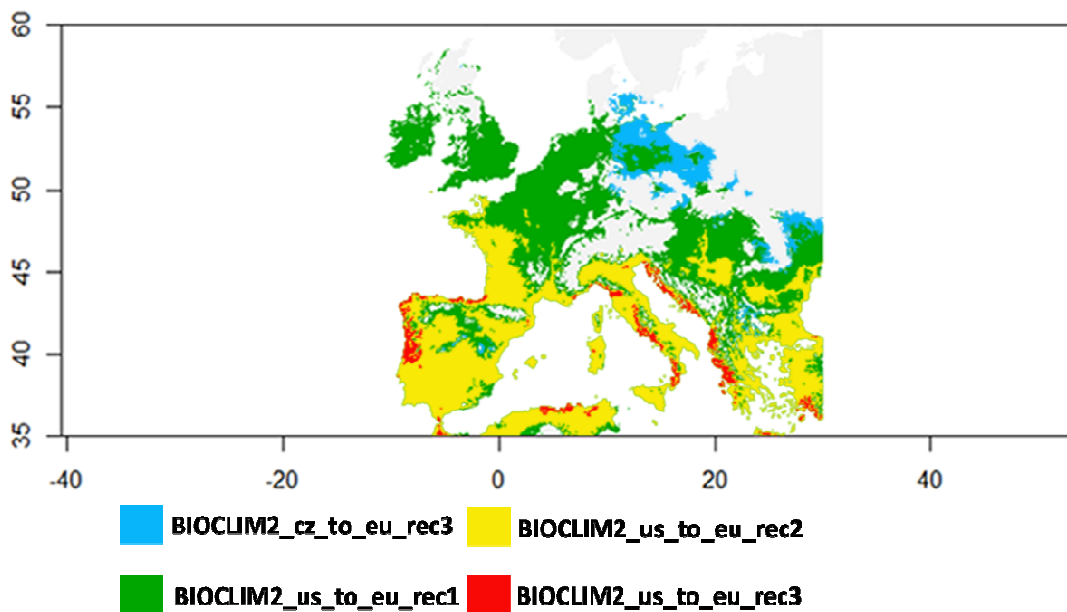
*Predikce podmínek vhodných pro *Trachemys scripta* V Evropě a komparace se situací v ČR.*

Při promítnutí modelu závislosti původního rozšíření *Trachemys scripta* na minimalistickém souboru proměnných do prostoru Evropy (Obr. tab. 8) byly oblasti vymezené reclass3 (nejblíže mediánu hodnot prostředí uvažovaných výskytů v původním areálu): západní pobřeží Portugalska, Španělska a Francie, západní pobřeží Itálie a západní pobřeží Balkánského poloostrova. Model zbavený odlehlých hodnot (reclass2) vyznačil oblast, kde severní hranici představovala osa území Francie, severní Itálie, Maďarsko a Rumunsko. Severovýchodní hranice modelu při rozlišení přítomnost/nepřítomnost (reclass1) zasahovala do Německa, Dánska, ČR, Polska, Maďarska a Ukrajiny. Pro reclass2 a reclass3 neměl model v prostoru ČR žádné výsledky vyšší než 0 a zobrazením byla jen prázdná plocha (Obr. tab. 9).

Promítnutí modelu závislosti rozšíření *Trachemys scripta* v ČR na minimalistickém souboru proměnných do prostoru Evropy predikovalo podobné podmínky na severovýchod od ČR (Obr. tab. 10). Oblastmi, které spadaly do rozsahu hodnot podmínek v místech pozorování *Trachemys scripta* v ČR byly: východní pobřeží Británie, jižní cíp Švédska, Německo, Polsko, Bělorusko, Litva, Lotyšsko, Ukrajina, Rumunsko, Moldavsko, Slovensko. (zčásti také Francie, Nizozemsko a Rakousko). Oblasti s podmínkami nejbližšími mediánu hodnot záznamů byly: Lužice, Meklenburská nížina (Německo), ostrovy Sjaelland a Lolland (Dánsko), Velkopolská nížina, Kujawy (Polsko), oblasti v ČR (Praha, střední Polabí, jižní Morava a střední Pomoraví, viz model výskytu v ČR), severovýchodní Rumunsko, severní Moldávie a jihozápad Ukrajiny.

Modely načtené na datech v původním areálu rozšíření v USA a na datech z ČR se v prostoru Evropy překrývají. Tento překryv při promítnutí výsledků do jedné mapy vystihuje model z dat z ČR reclass3 (Obr. 14).

Sloučení výstupů modelu **BIOCLIM2us reclassify** a **BIOCLIM2cz reclassify 3**



Obr. 14 – Sloučení zobrazení modelů kalibrovaných na minimalistickém souboru proměnných prostředí podle záznamů *Trachemys scripta* v ČR (BIOCLIM2_cz_to_eu) a záznamů původního rozšíření *Trachemys scripta* v USA (BIOCLIM2_us_to_eu). **BIOCLIM2_cz_to_eu_rec3** a **BIOCLIM2_us_to_eu_rec3** vymezují oblasti, jejich podmínky jsou blízké mediánu hodnot záznamů; **BIOCLIM2_us_to_eu_rec2** zobrazuje, oblasti jejichž podmínky jsou v rozsahu záznamů původního rozšíření bez odlehlých hodnot; **BIOCLIM2_us_to_eu_rec1** vymezuje oblasti jejichž podmínky jsou v rozsahu hodnot záznamů původního rozšíření. Z obrázku je patrné, že podmínky, ve kterých se nachází *Trachemys scripta* na našem území tvoří extrémní okraj jejího potenciálního rozšíření v Evropě. Na ose x je zeměpisná délka, osa y představuje zeměpisnou šířku.

MaxEnt

Všechny modely na základě záznamů výskytu *Trachemys scripta* v ČR, bez ohledu na počet zahrnutých vrstev proměnných, byly schopny rozlišit velmi dobře mezi přítomností a nepřítomností (AUC=0,888 – 0,868) a jejich AICc a BIC si byly velmi blízké. Na základě funkce model selection v programu ENMTools, jsem vybral tři modely (Tab. 5). Model s nejnižším AICc i BIC, který zahrnoval všechny uvažované bionimatické vrstvy (bio1-bio11), průměrné roční srážky (prec), human footprint (hf) a nadmořskou výšku (alt) (**m6**) (AICc=6164,936; BIC=6385,369; AUC=0,888) (Obr. tab. 11). Model s druhým nejnižším BIC zahrnující pouze průměrnou roční teplotu (bio1),

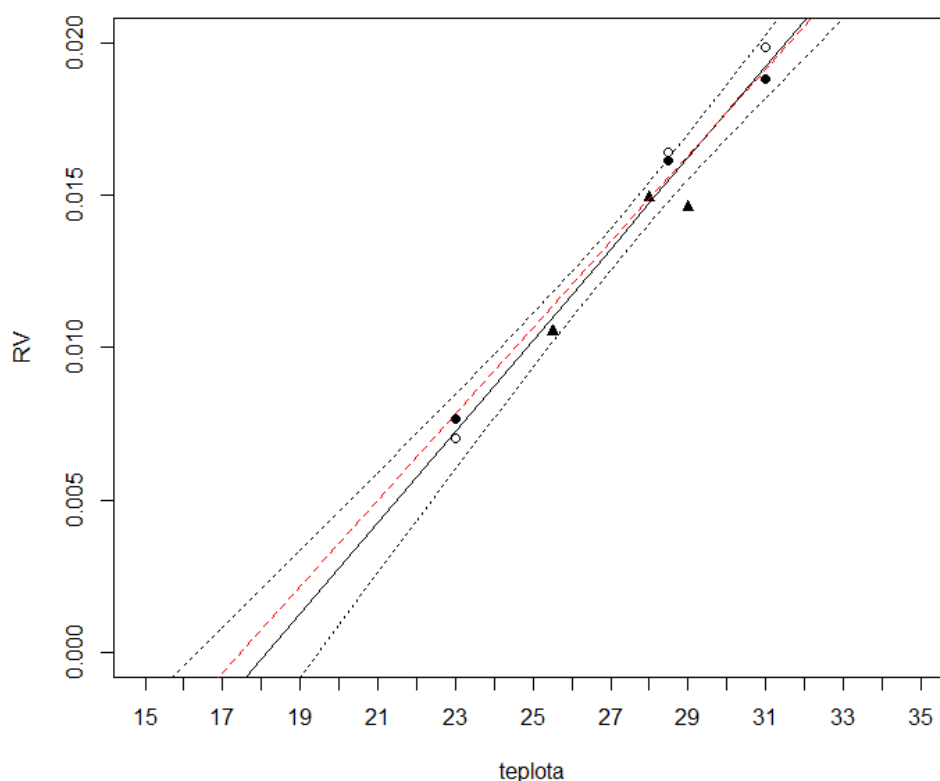
průměrné roční srážky (prec) a human footprint (hf) (**m5**) (AICc=6672,415; BIC=6740,929; AUC=0,868) (Obr. tab. 12). A model s druhým nejnižším AICc, který zahrnoval průměrnou roční teplotu (bio1), isothermalitu (bio3), nejnižší teplotu v nejhladnějším měsíci (bio6), roční teplotní rozsah (bio7), průměrné roční srážky (prec) a human footprint (hf) (**m20**) (AICc=6659,116; BIC=6771,322; AUC=0,874) (Obr. tab. 13). Avšak model m6, který zahrnoval všechny uvažované bioklimatické vrstvy, na některých souřadnicích postrádal prostorová data, a proto pro výběr modelu zahrnoval méně referenčních bodů. Tyto chyby nebylo v současné chvíli možné odstranit a tento model proto nelze považovat jako plně srovnatelný. Zastoupení proměnných prostředí nad 0,5% na vysvětlené variabilitě ve finálních modelech byl následující: **m6** – human footprint 33,8%, nadmořská výška 33,1%, průměrná teplota nejvlhčí čtvrtiny roku 10,2%, průměrná teplota nejhladnější čtvrtiny roku 6,5%, průměrná roční teplota 5,8%, nejvyšší teplota v nejteplejším měsíci 4,6%, průměrná teplota nejteplejší čtvrtiny roku 2,5%, průměrná teplota nejsušší čtvrtiny roku 1,5%, průměrný měsíční rozsah 0,7%; **m5** – human footprint 49,7%, průměrná roční teplota 48,6% a průměrný roční úhrn srážek 1,7%; **m20** – průměrná roční teplota 47,6%, human footprint 43,1%, nejnižší teplota v nejnižším měsíci (3,6%), roční teplotní rozsah 2,6%, isothermalita 2,3% a průměrný roční úhrn srážek 0,9%.

Tab. 5 – Tabulka volby modelu (model selection). Jednotlivé modely (MaxEnt Model) seřazené podle BIC. **np** – počet parametrů modelu, **n** – počet bodů výskytu.

MaxEnt model	np	n	AICc	BIC
m6 - b1-b11_prec_alt_hf	75	287	6164.936	6385.369
m5 - b1_prec_hf	19	312	6672.415	6740.929
m20 - b1_b3_b6_b7_prec_hf	32	312	6659.116	6771.322
m3 - b1_alt_prec_hf	32	312	6673.707	6785.914
m2 - b1_b3_b6_b7_alt_prec_hf	46	312	6671.244	6827.105
m0 - b1_b2_b3_b4_b5_b6_7_alt_prec_hf	52	312	6666.357	6839.711
m1 - b1_b2_b3_b5_b6_b7_alt_prec_hf	51	312	6671.113	6841.607
m4 - alt_prec_hf	29	312	6829.830	6932.206

4.2 Měření teplot substrátu

Byl sestaven lineární model závislosti rychlosti vývoje *Trachemys scripta* na teplotě (Obr. 15), vypočtena suma efektivních teplot (SET=671) a spodní práh vývoje (SPV=18,15°C). Protože však ve skutečnosti konstantní podmínky nejsou a fluktuace teplot během inkubace zvyšují rychlost vývoje při teplotách blízcích se spodnímu prahu vývoje (Les et al. 2007), byly sumy teplot z měření počítány nad benevolentnějším spodním prahem 17°C.



Obr. 15 – Závislost rychlosti vývoje (RV) vajec *Trachemys scripta* na teplotě (°C). ● inkubace ve fluktuujících teplotních podmínkách (Les et al. 2007, Les et al. 2009), ○ inkubace v konstantních teplotních podmínkách (Les et al. 2007, Les et al. 2009) a ▲ inkubace chovatelů želv (Gvoždík 2003, Gvoždík 2005, KCHŽ in litt.)

Výsledkem měření jsou naměřené teploty substrátu od 1. 7. do 30. 9. 2011 a od 1. 4. 2012 do 31. 3. 2013 (Příloha 3). Sumy teplot z měření jsou uvedeny v tabulce (Tab. 6). Na žádné z lokalit, kde byla v roce 2011 od 16. 7. do 30. 9. měřena teplota substrátu nebylo dosaženo SET. V sezóně 2012 – 2013 bylo SET dosaženo: v termínu od 16. 7. do 30. 9. na lokalitě Piešťany; v termínu od 1. 7. do 30. 9. na lokalitách vinice Grébovka

a Piešťany; v termínu od 1. 4. do 30. 9. na lokalitách Botanická zahrada UK, CRARC, vinice Grébovka, Piešťany a ZOO Zagreb.

Tab. 6 – Tabulka sum teplot nad spodním prahem vývoje vypočtených z naměřených hodnot v terénu.

Suma nad 17 °C	botanka11	decin11	plzensk11	plzenst11	prachov11	probostak11	vehlovice11
16.7. 2011 - 30.9. 2011	103.944	101.622	150.121	153.548	66.932	282.106	201.608
Suma nad 17 °C	botanka	crarc	grebovka	piestany	vehlovice	zagreb	decin
1.4. 2012 - 30.9. 2012	1955.071	776.838	1168.45	1521.55	7.2	854.321	319.15
1.7. 2012 - 30.9. 2012	1194.413	575.613	712.521	921.229	3.8	656.479	213.971
16.7. 2012 - 30.9. 2012	964.738	497.033	587.467	754.721	2.571	525.333	164.288
Suma nad 17 °C mimo dní kdy > 32 °C							
1.4. 2012 - 30.9. 2012	1955.071	776.838	1168.45	1521.55	7.2	854.321	319.15
1.7. 2012 - 30.9. 2012	499.696	575.613	712.521	921.229	3.8	656.479	213.971
16.7. 2012 - 30.9. 2012	469.267	497.033	523.375	745.721	2.571	525.33	164.288

Z každého měření bylo spočteno 6 bioklimatických charakteristik (Tab. 7), které byly srovnány s hodnotami lokalit z Worldclim párovým t-testem. Signifikantní rozdíl vyšel pro: bio1 $p=0,038$; bio6 $p=0,015$. Marginální efekt byl patrný také u bio5 $p=0,085$ (Tab. 8).

Tab. 7. – Tabulka hodnot bioklimatických proměných pro lokality měření z databáze Worldclim (wc) a z naměřených dat (m).

lokality	zdroj	bio1	bio2	bio3	bio5	bio6	bio7
bot	wc	8.7	9	31	24.2	-4.1	28.3
crarc	wc	15.3	7.3	32	27.2	5	22.2
greb	wc	8.7	9	31	24.2	-4.1	28.3
pies	wc	8.7	9.6	31	24.7	-5.7	30.4
vehl	wc	8.5	8.4	30	23.5	-4.3	27.8
zagr	wc	10.6	9.6	31	24.7	-5.7	30.4
dec	wc	7.2	7.5	28	21.4	-5	26.4
bot	m	16.21	13.4	30.81	41.47	-2.02	43.48
crarc	m	15.14	6.51	28.39	26.96	4.03	22.93
greb	m	13.83	11.6	33.85	33.92	-0.35	34.27
pies	m	18.13	8.99	30.29	33.27	3.59	29.68
vehl	m	7.64	5.5	28.12	18.53	-1.04	19.56
zagr	m	13.57	6.99	23.93	29.74	0.53	29.21
dec	m	9.82	8.13	32.59	25.22	0.28	24.95

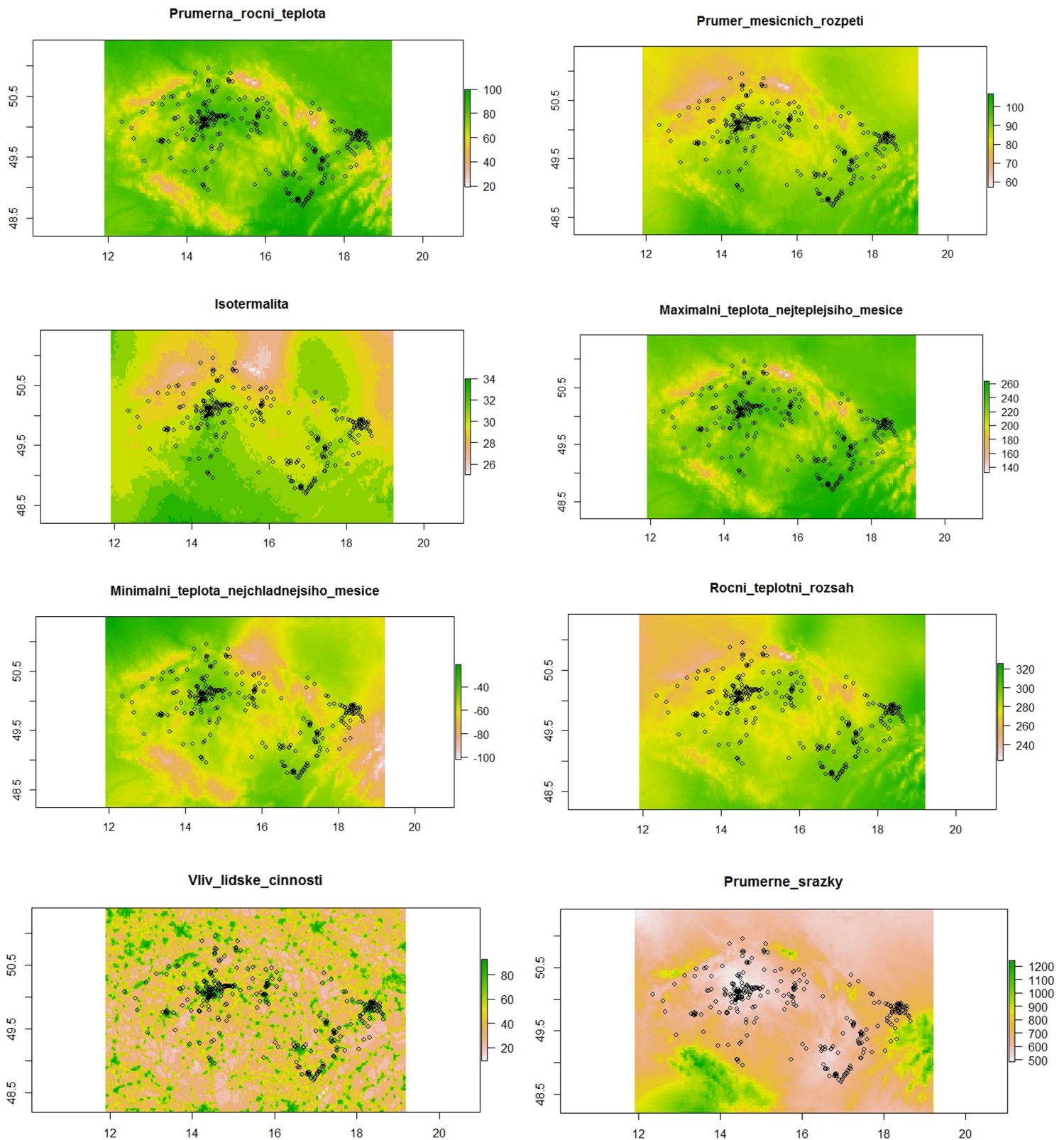
Tab. 8. – Výsledky srovnávání hodnot z databáze Worldclim (wc) a hodnot měřených v substrátu v terénu (m) pomocí párového t-testu; průměry (\bar{x}) pro každou proměnnou prostředí podle původu údajů.

	\bar{x}_{wc}	\bar{x}_m	t	df	p
bio1	9.671	13.48	-2.649	6	0.038
bio2	8.63	8.73	-0.102	6	0.922
bio3	30.57	29.71	-0.584	6	0.581
bio5	24.27	29.87	-2.058	6	0.085
bio6	-3.41	0.71	-3.361	6	0.015
bio7	27.69	29.15	-0.529	6	0.615

Obr. tab. 1

Rozšíření *Trachemys scripta* v přírodních podmínkách původního areálu rozšíření.

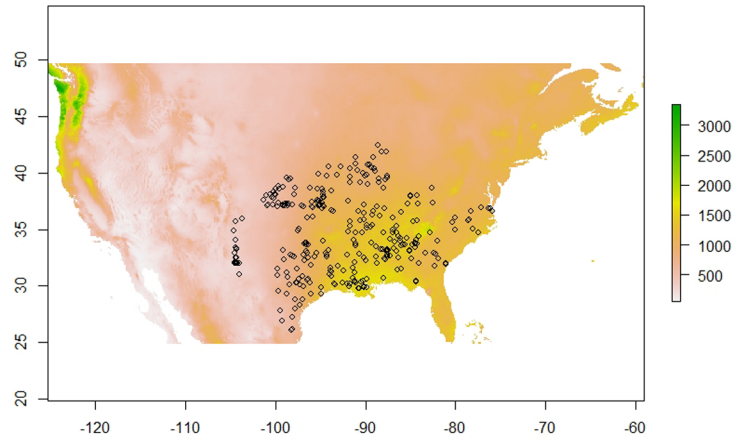
Panel obrázků, představuje seznam charakteristik prostředí, které byly použity v analýzách: Průměrná roční teplota (**bio1**), průměr měsíčních rozpětí (**bio2**), isotermalita (**bio3**), maximální teplota nejteplejšího měsíce (**bio5**), minimální teplota nejchladnějšího měsíce (**bio6**), roční teplotní rozsah (**bio7**), vliv lidské činnosti (**hf**, humanfootprint) a průměrné srážky v roce (**bio12**).



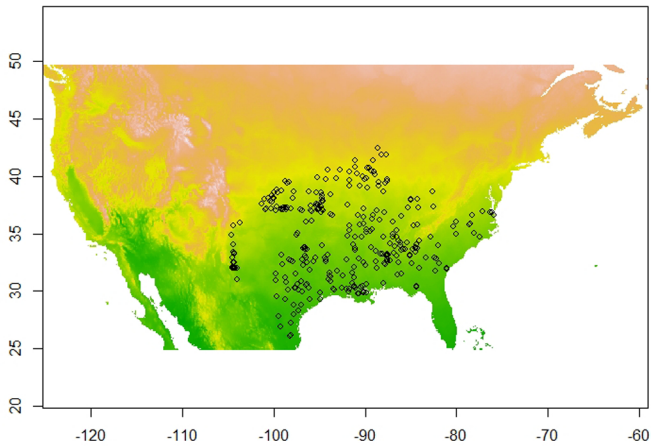
Obr. tab. 2

Rozšíření *Trachemys scripta* v přírodních podmínkách původního areálu rozšíření.

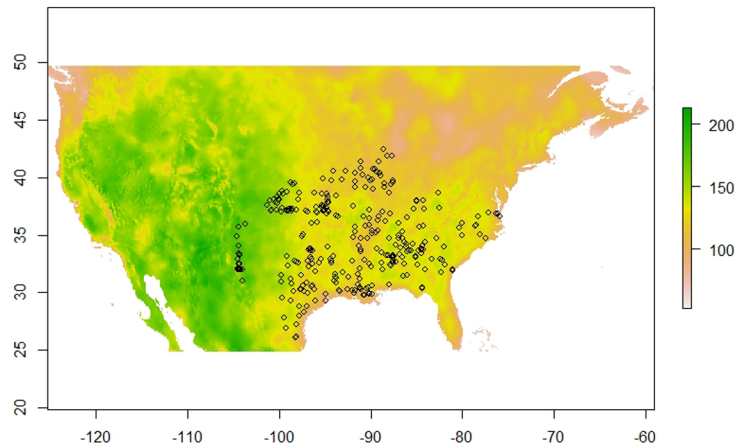
Prumerne_srazky



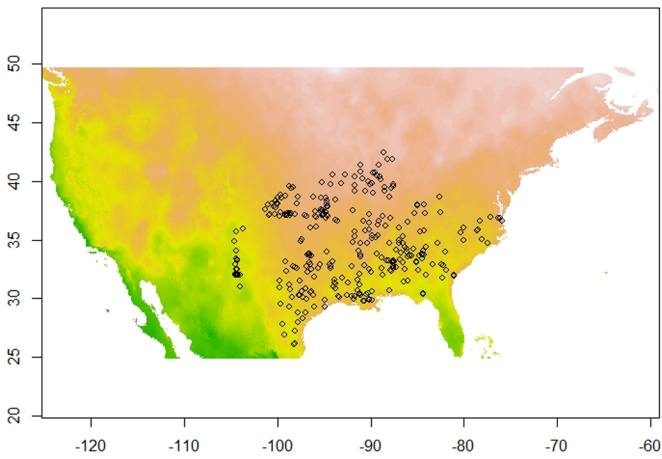
Prumerna_rocni_teplota



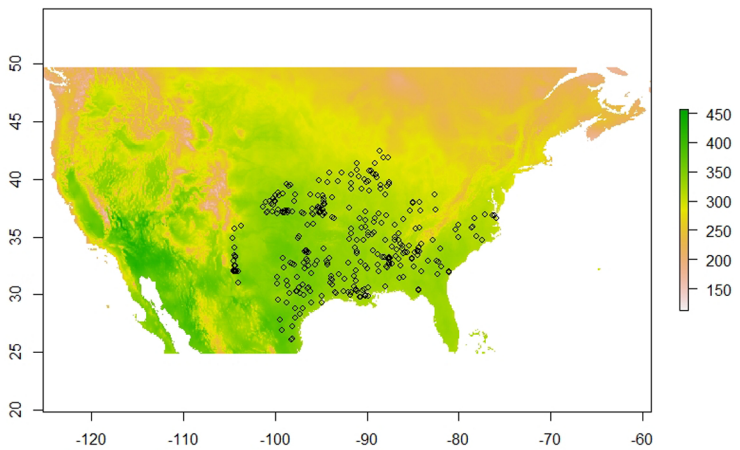
Prumer_mesicnich_rozpeti



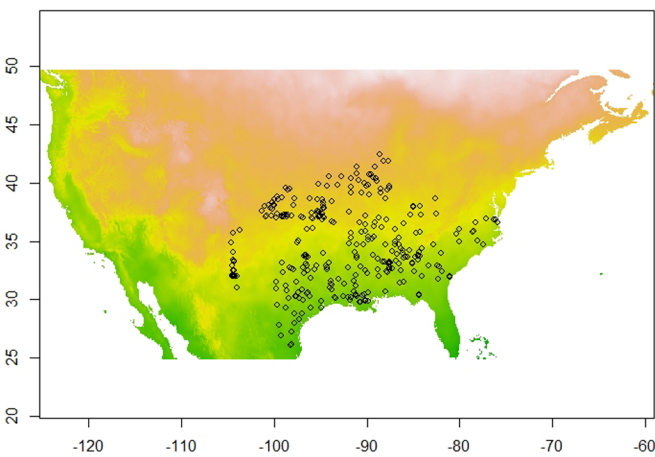
Isotermalita



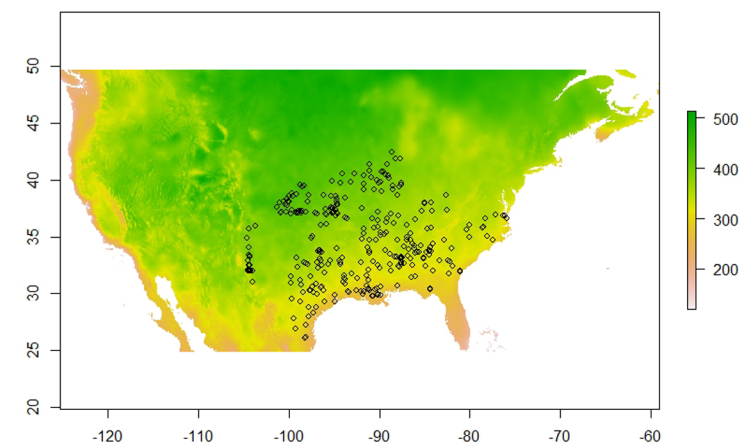
Maximalni_teplota_nejteplejsiho_mesice



Minimalni_teplota_nejchladnejsiho_mesice



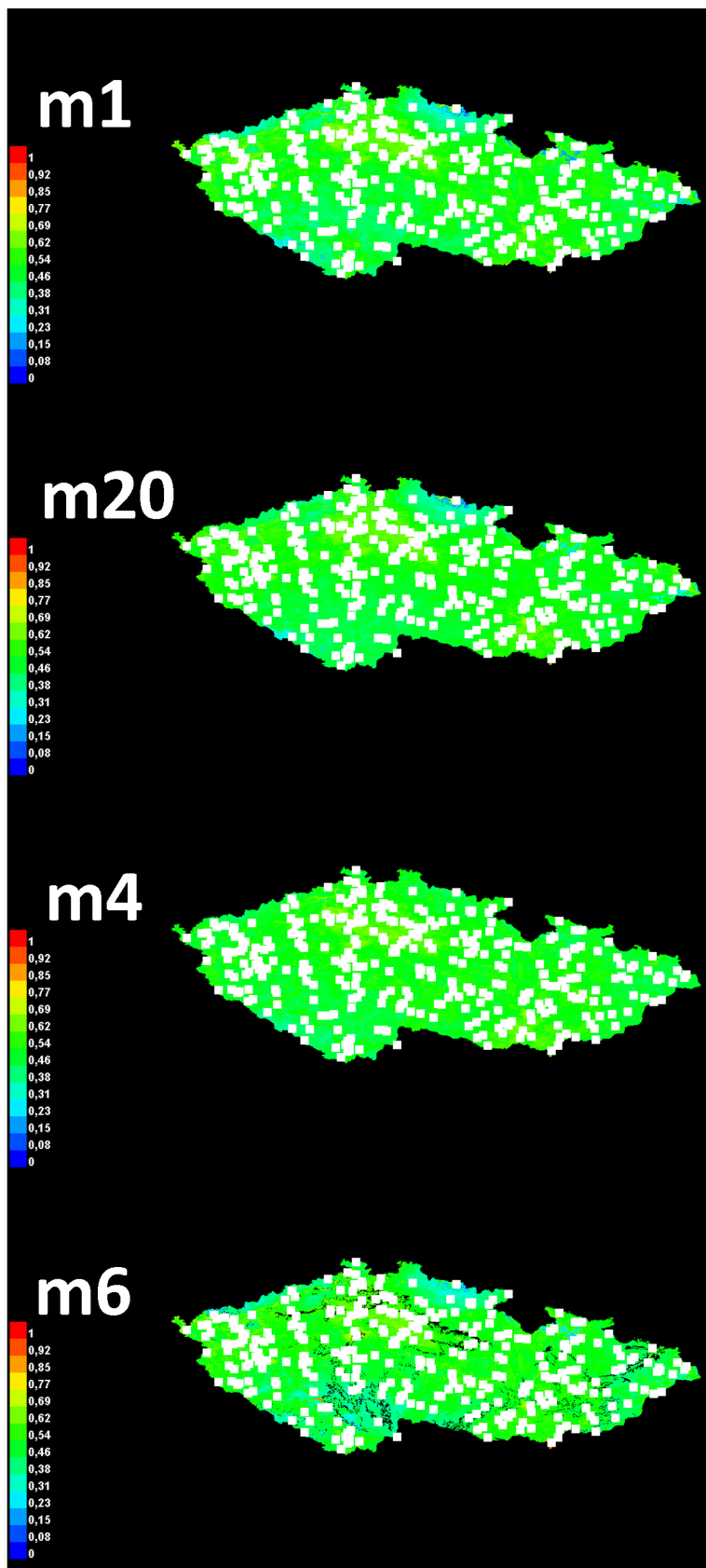
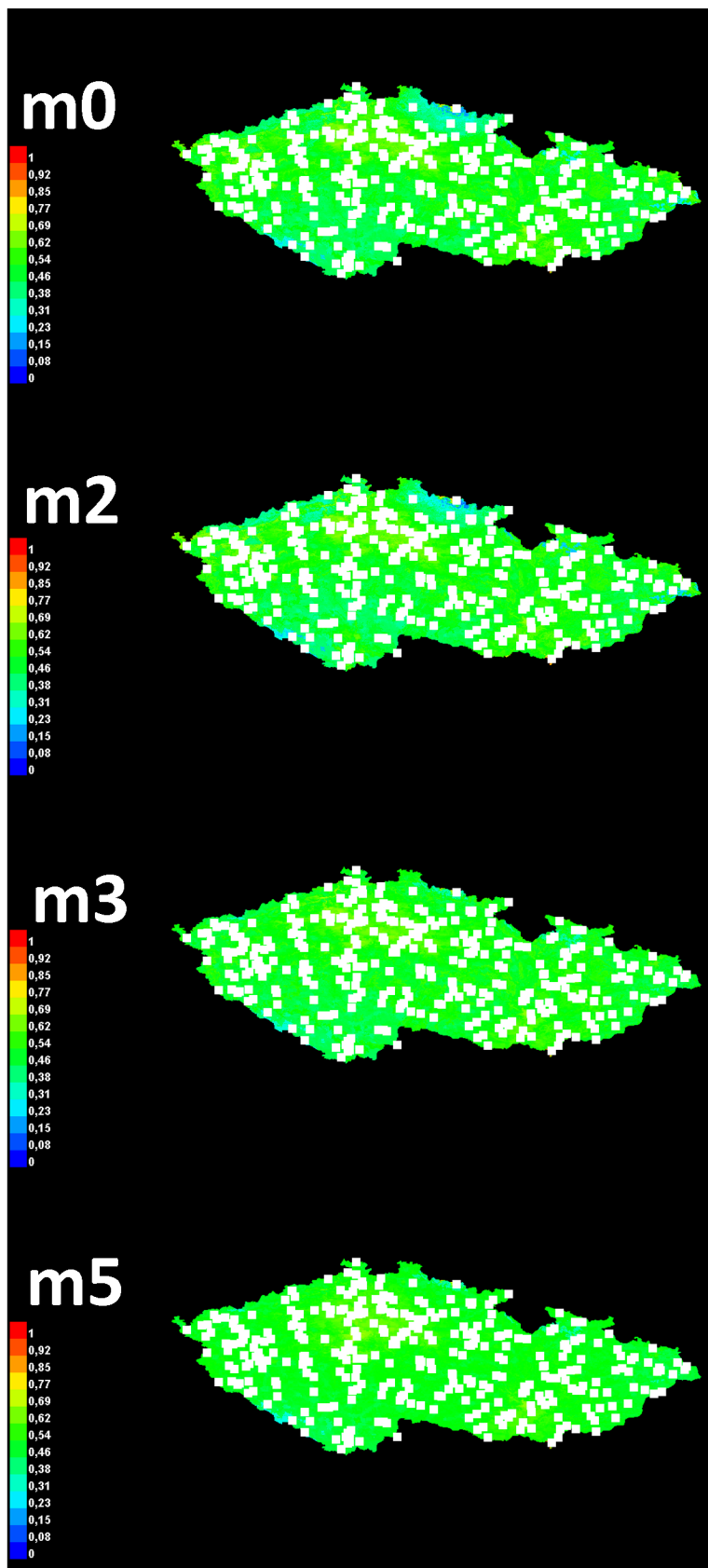
Rocni_teplotni_rozsah



Obr. tab. 3

*Výběr proměných prostředí pro spuštění modelu na náhodných datech je vyznačen pomocí názvu modelu načtených na bodech výskytu *Trachemys scripta* (m0-m6) viz metodika.*

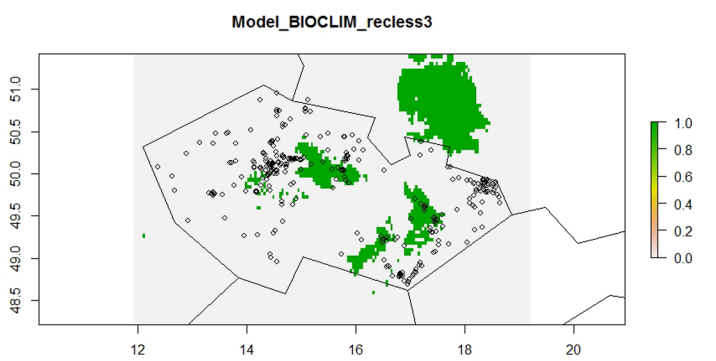
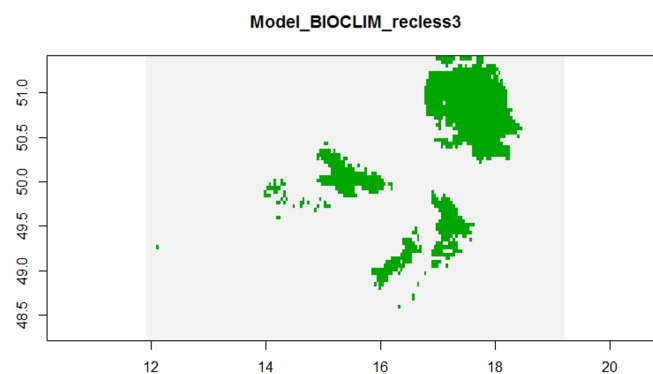
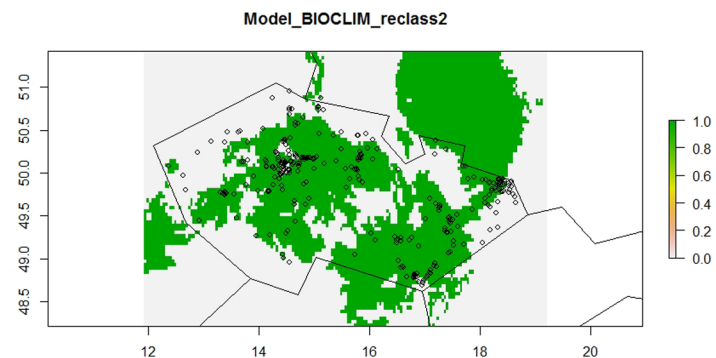
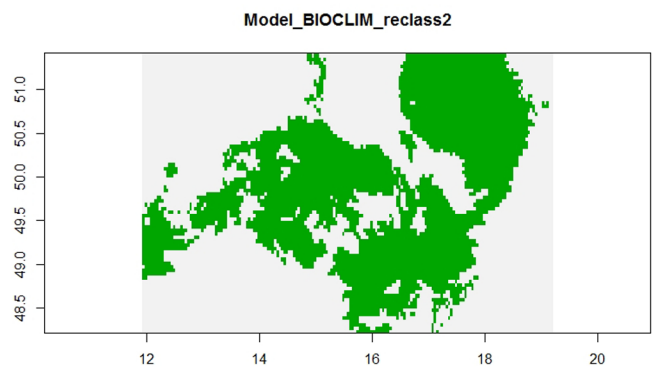
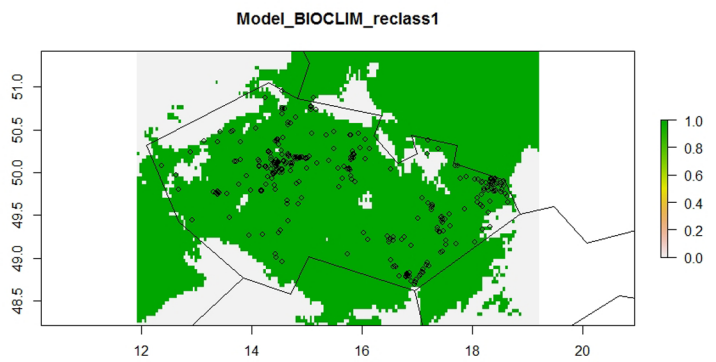
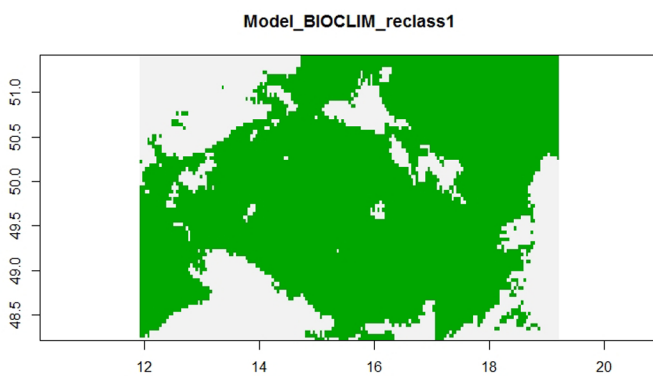
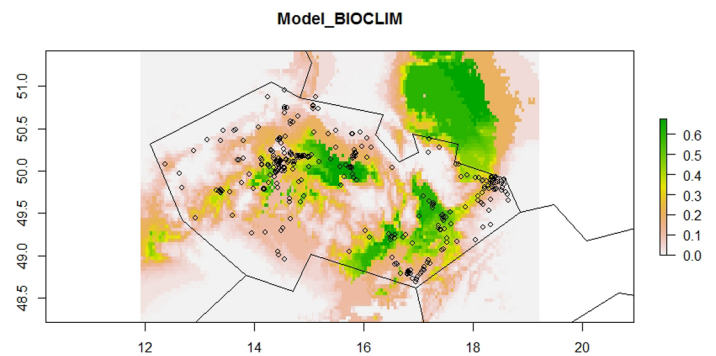
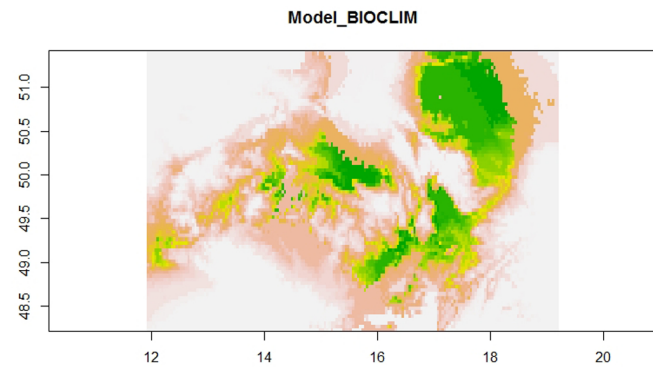
Zobrazení modelů založených na náhodných bodech.



Obr. tab. 4

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v ČR na základě širokého souboru proměných.

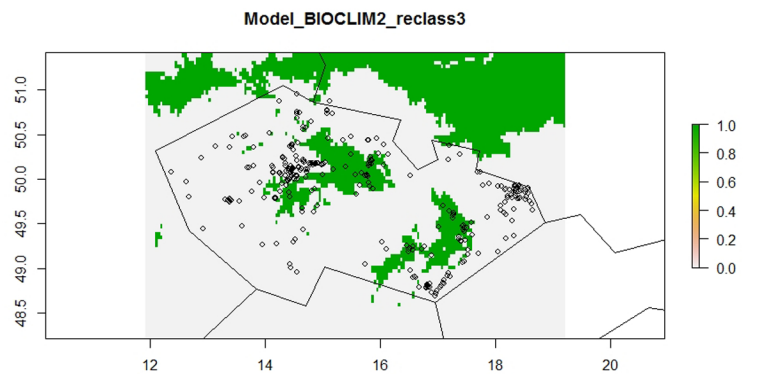
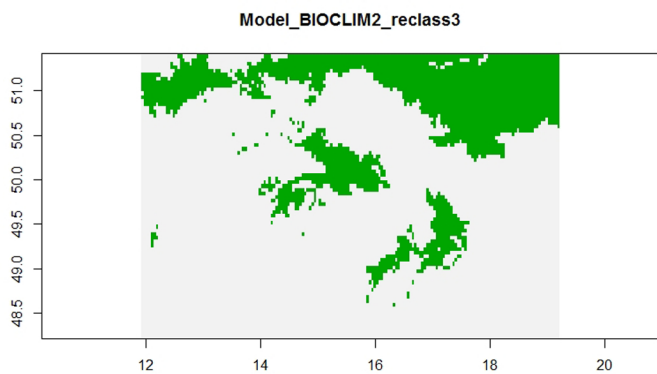
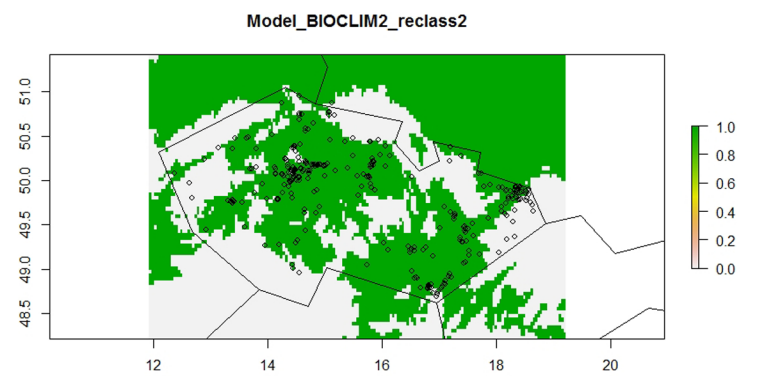
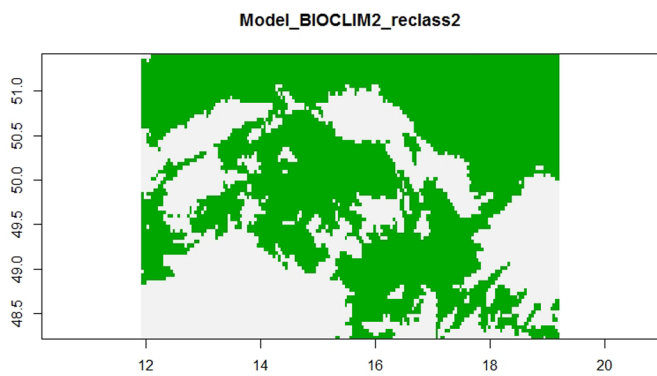
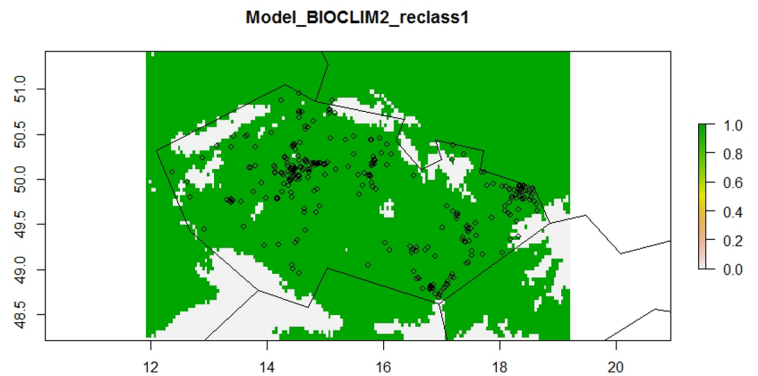
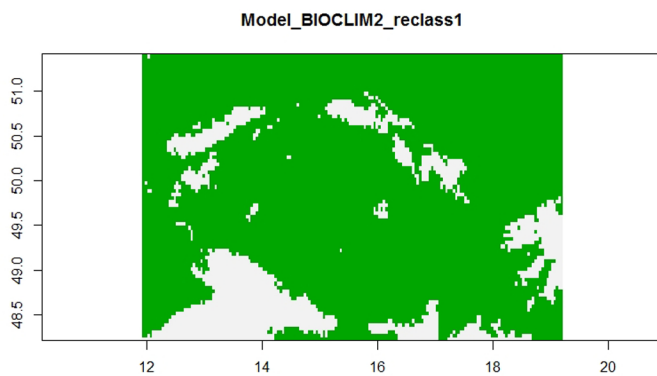
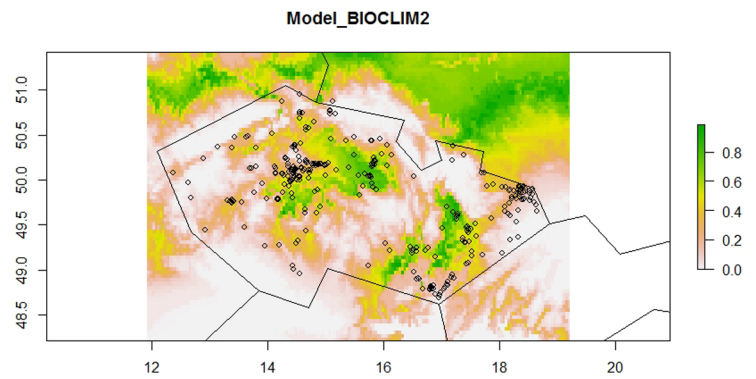
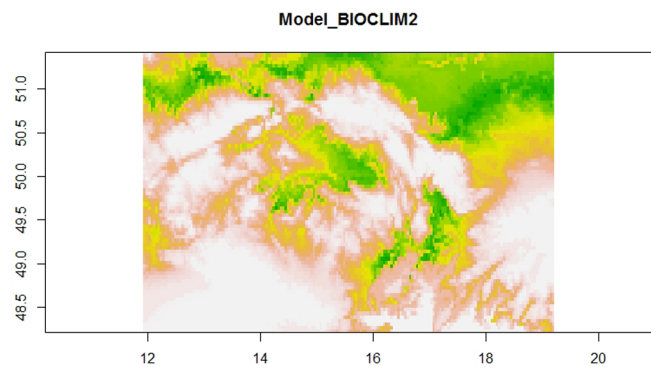
Výsledky modelu BIOCLIM. Na základě výběru byly uvážovány následující proměné: **bio1**, **bio3**, **bio6**, **bio7** a **prec**.



Obr. tab. 5

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v ČR na základě minimalistického souboru proměných.

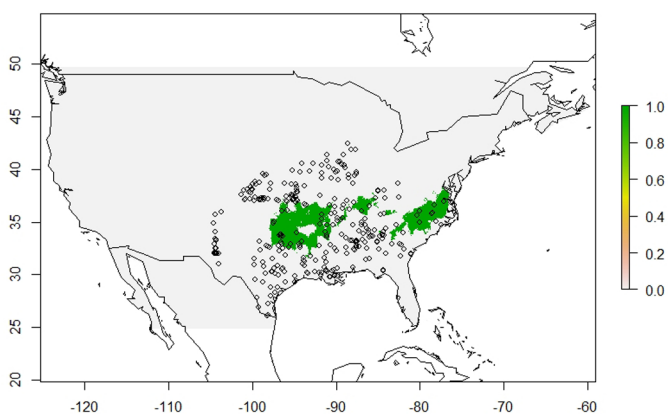
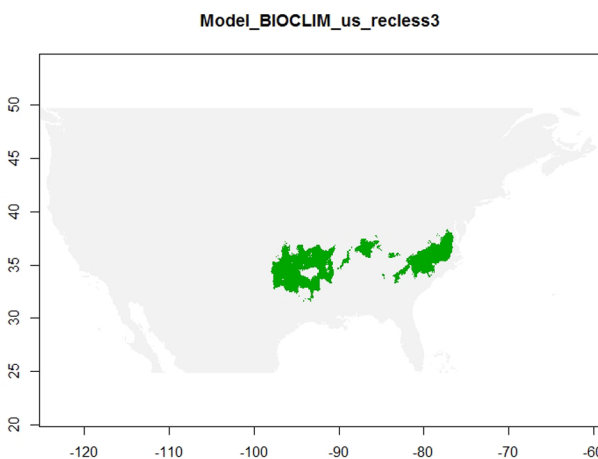
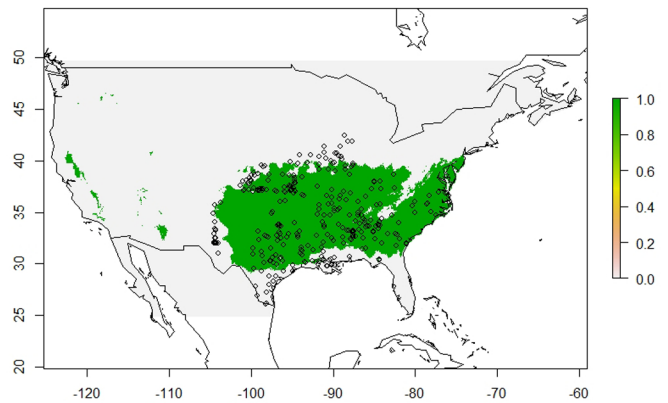
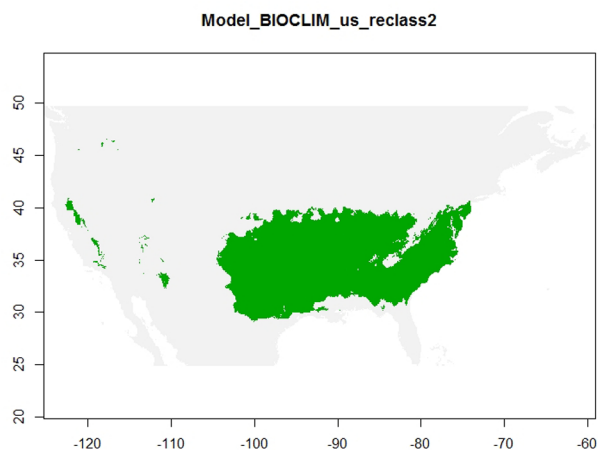
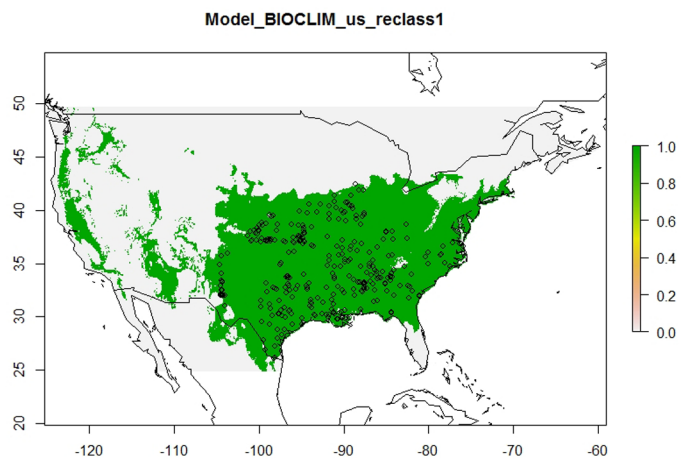
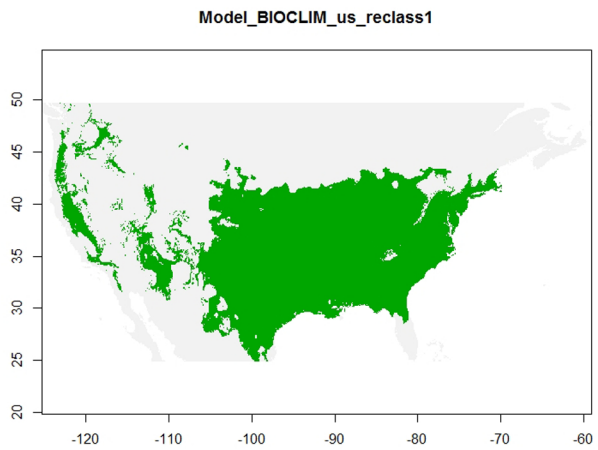
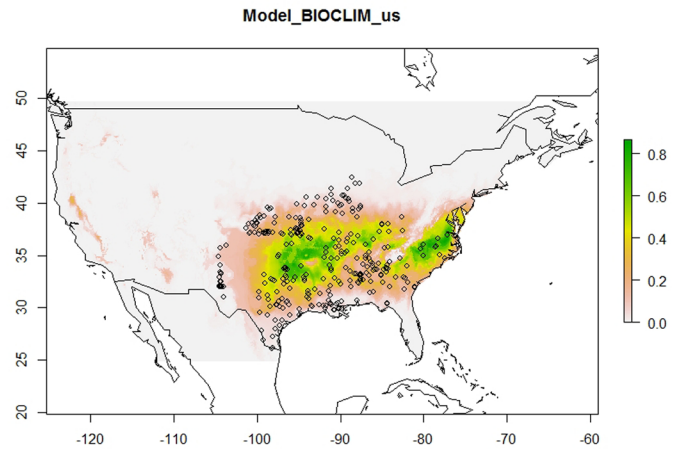
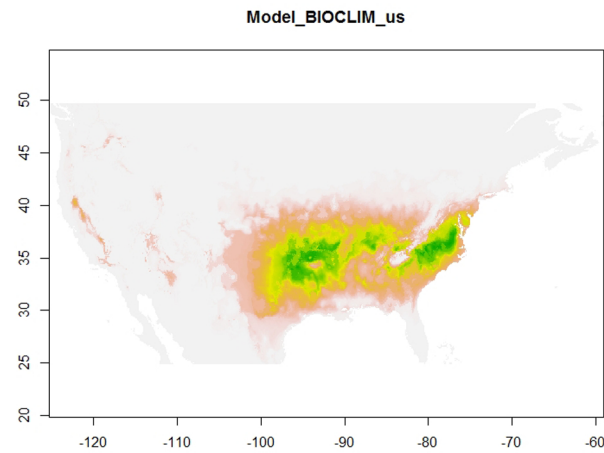
Výsledky modelu BIOCLIM. Uvažované proměné byly pouze **bio1** a **prec**.



Obr. tab. 6

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v podmínkách původního rozšíření na základě širokého souboru proměných.

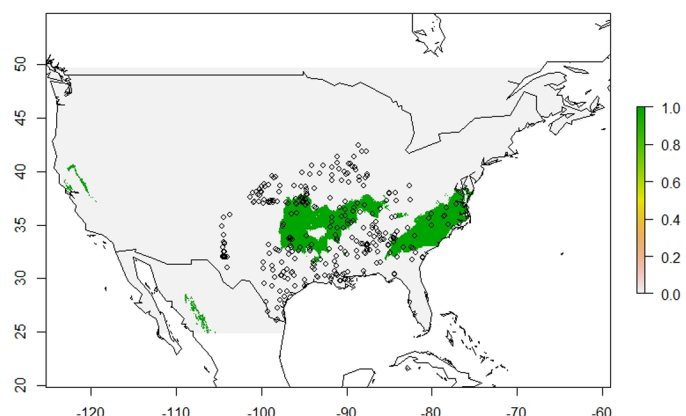
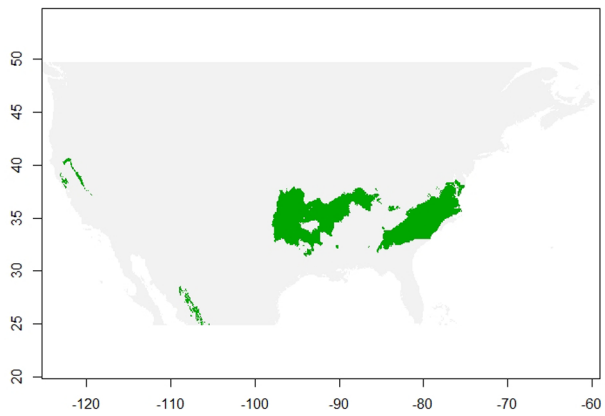
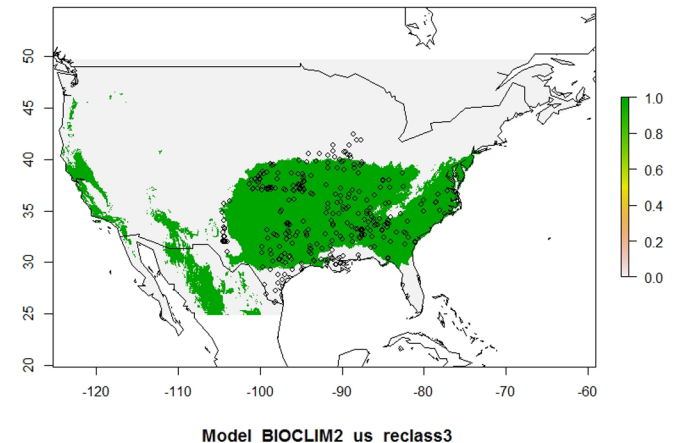
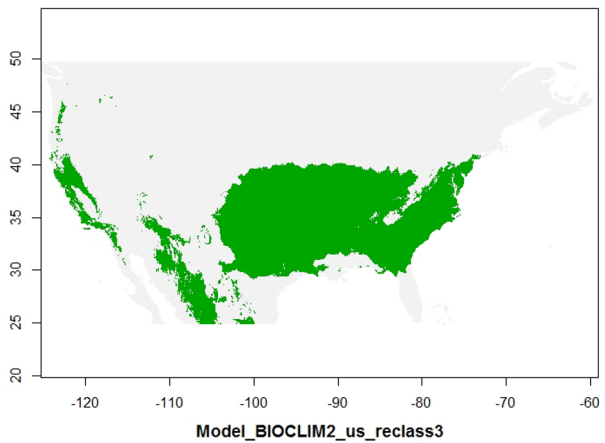
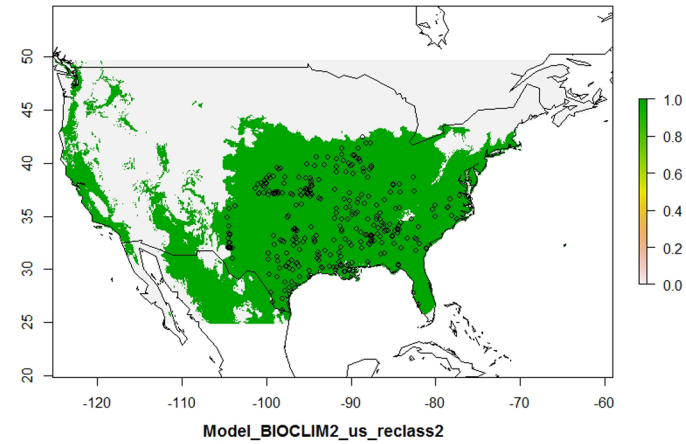
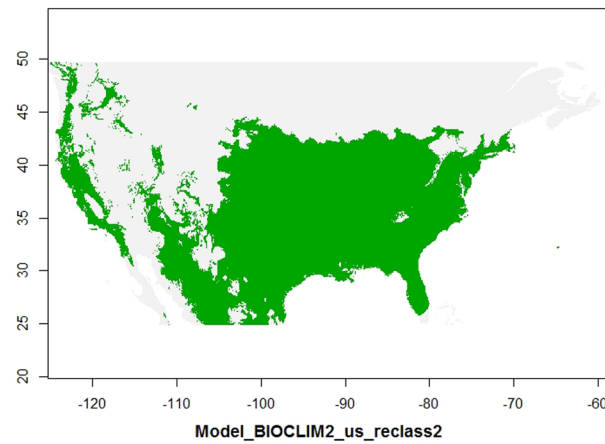
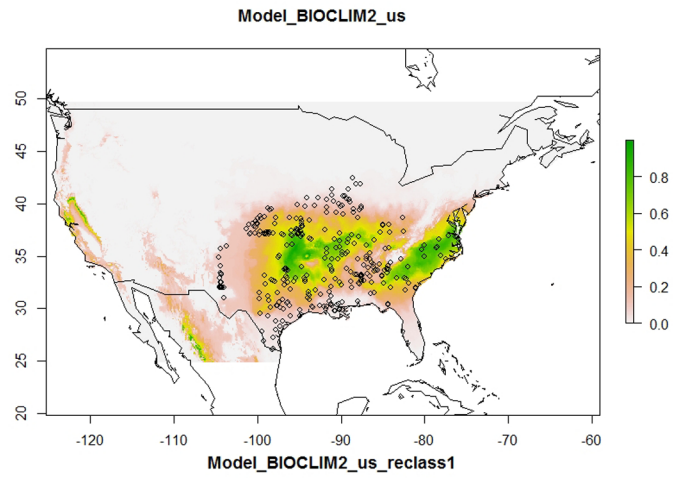
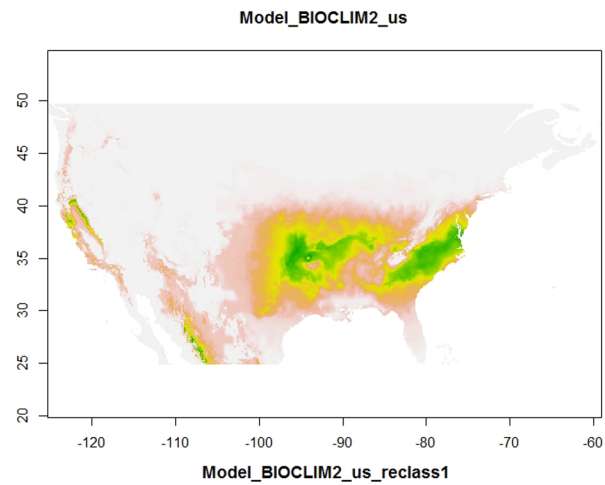
Výsledky modelu BIOCLIM na základě: **bio1, bio3, bio6, bio7 a prec.**



Obr. tab. 7

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v podmínkách původního rozšíření na základě minimalistického souboru proměných.

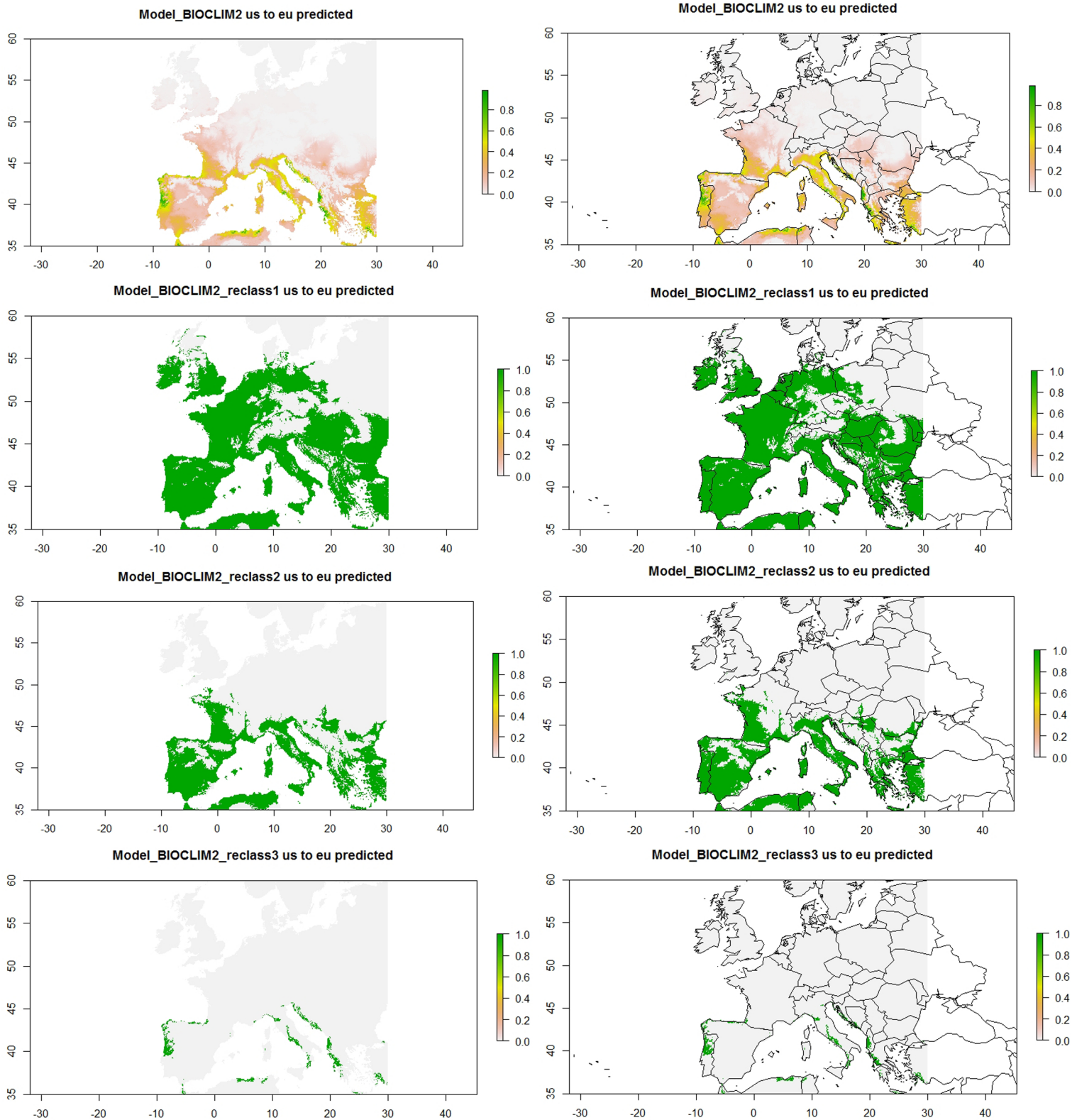
Výsledky modelu BIOCLIM na základě: **bio1** a **prec.**



Obr. tab. 8

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v původním areálu výskytu (us) do klimatického prostoru Evropy (eu) na základě minimalistického souboru proměných.

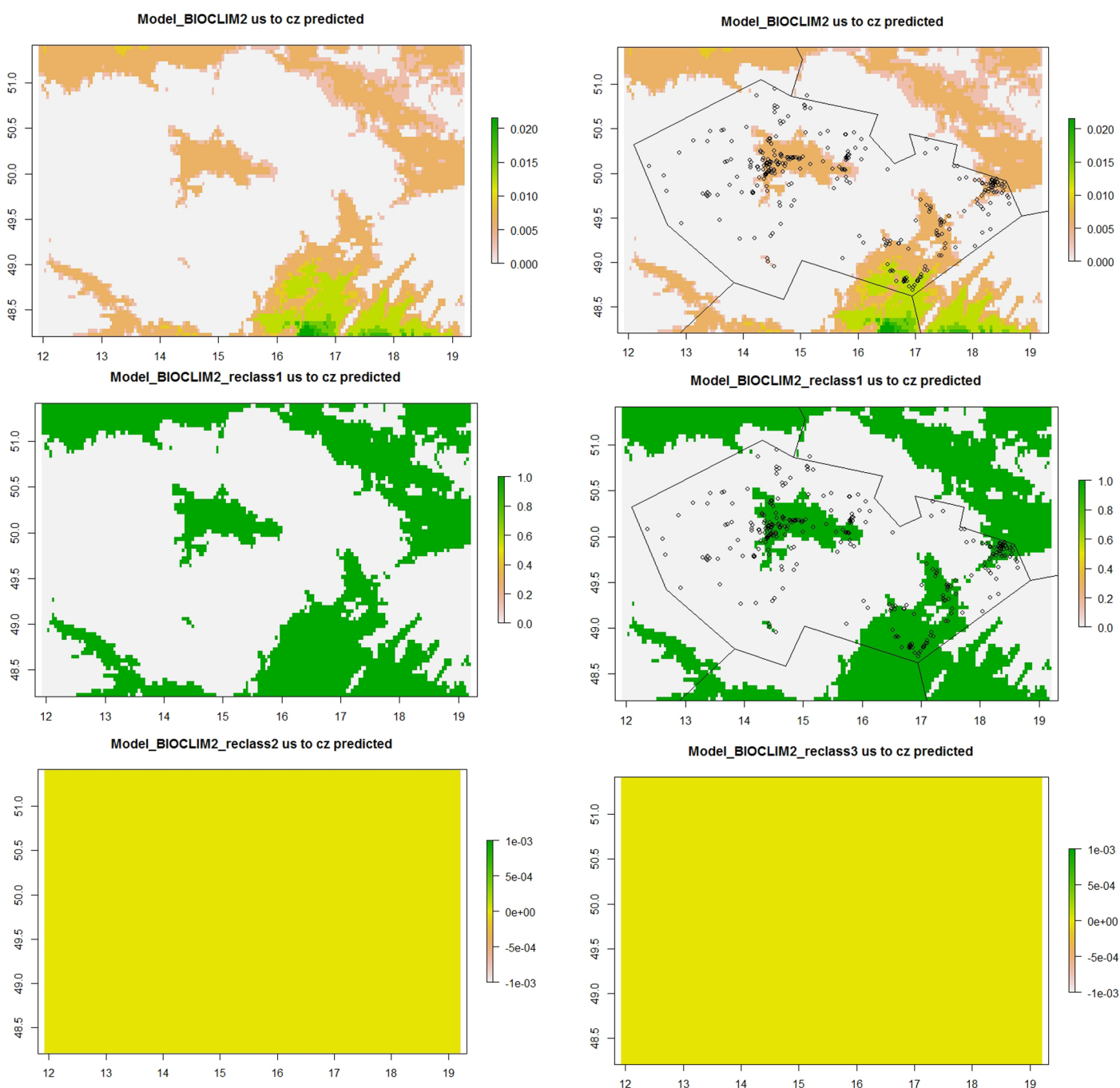
Výsledky modelu BIOCLIM. Uvažované proměné byly pouze **bio1** a **prec**.



Obr. tab. 9

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v původním areálu výskytu (us) do klimatického prostoru ČR (cz) na základě minimalistického souboru proměných.

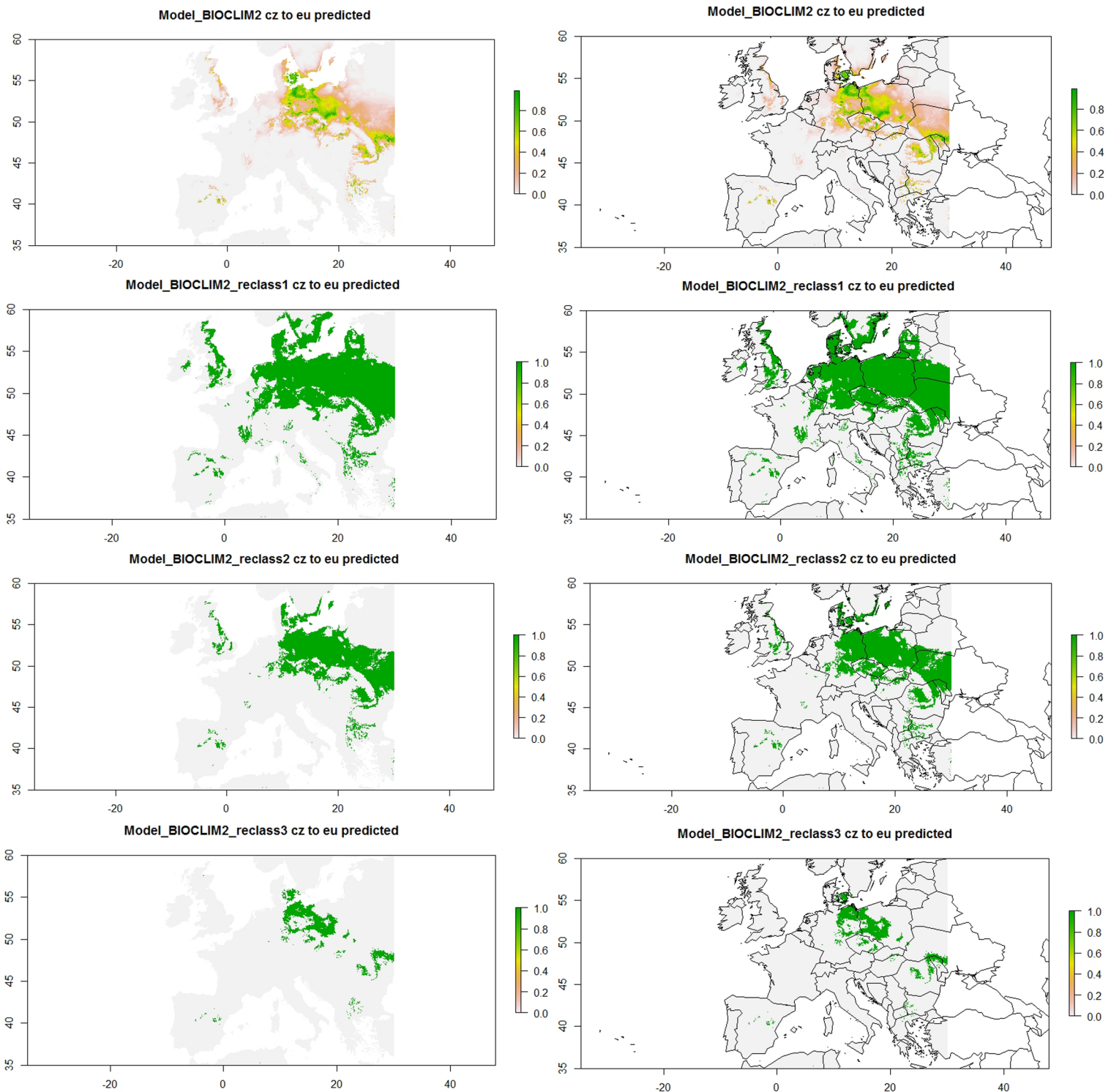
Výsledky modelu BIOCLIM. Uvažované proměné byly pouze **bio1** a **prec**. - pro reclass2 a reclass3 neměl model žádné výsledky - více v textu,



Obr. tab. 10

Zobrazení modelu výskytu *Trachemys scripta* v ČR (cz) do klimatického prostoru Evropy (eu) na základě minimalistického souboru proměných.

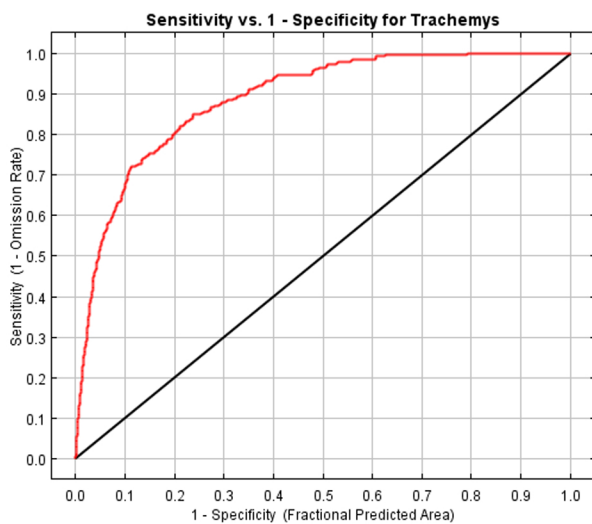
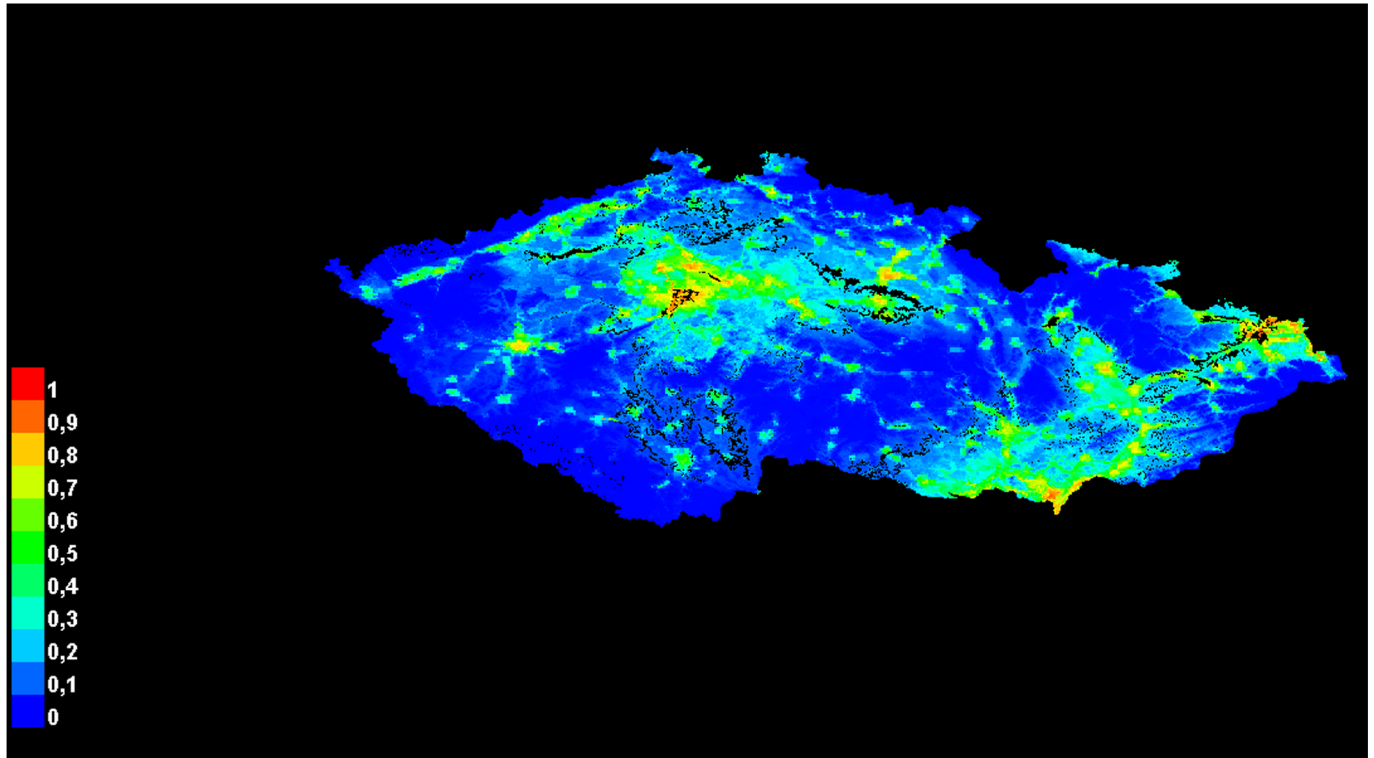
Výsledky modelu BIOCLIM. Uvažované proměné byly pouze **bio1** a **prec**.



Obr. tab. 11

Charakteristiky modelu rozšíření *Trachemys scripta* v ČR, který měl při srovnání nejnižší AICc i BIC.

Model s nejnižším AICc i BIC, který zahrnoval všechny uvažované bioklimatické vrstvy (bio1-bio11), průměrné roční srážky (prec), human footprint (hf) a nadmořskou výšku (alt)(m6). Obrazová tabule obsahuje zobrazení modelu do geografického prostoru (nahore), křivku ROC (vlevo dole) a tabulku podílu proměnných prostředí na vyvětlené variabilitě (vpravo dole).

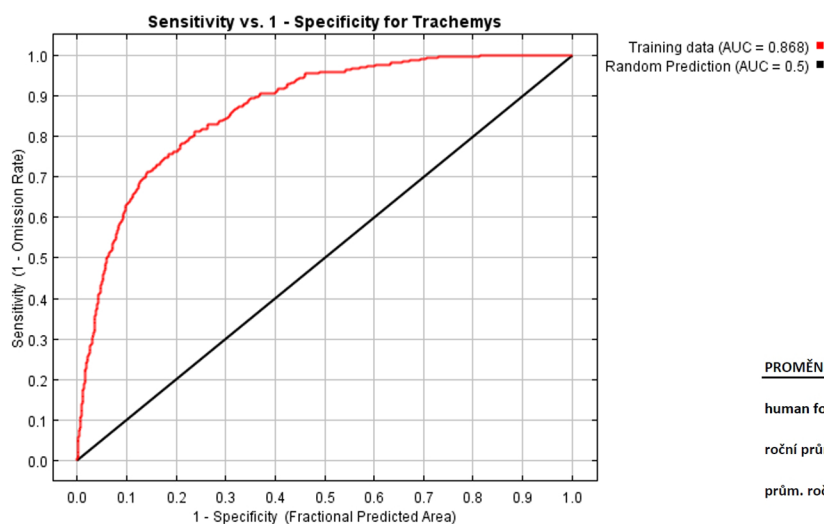
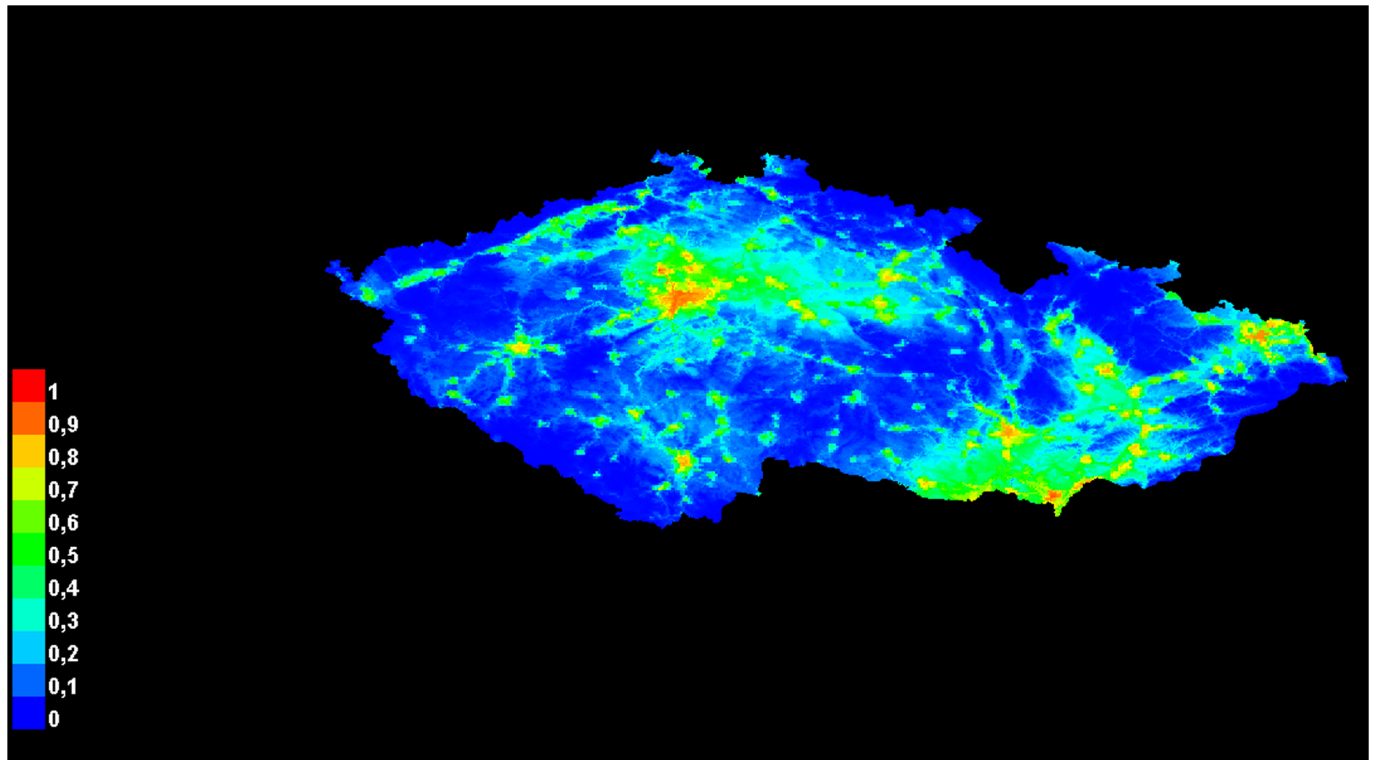


PROMĚNNÁ PROSTŘEDÍ	PODÍL VYVĚTLENÉ VARIABILITY
human footprint (hf)	33.8%
nadmořská výška (alt)	33.1%
prům. t. nejvlhčí čtvrtiny roku (bio8)	10.2%
prům. t. nejchladnější čtvrtiny roku (bio11)	6.5%
roční průměrná teplota (bio1)	5.8%
nejvyšší teplota v nejteplejším měsíci (bio5)	4.6%
prům. t. nejsušší čtvrtiny roku (bio9)	2.5%
roční teplotní rozsah (bio7)	1.5%
průměrný měsíční rozsah (bio2)	0.7%

Obr. tab. 12

Charakteristiky modelu rozšíření *Trachemys scripta* v ČR, který měl při srovnání druhé nejvyšší BIC.

Model s druhým nejnižším BIC, který zahrnoval průměrnou roční teplotu (bio1), průměrné roční srážky (prec), human footprint (hf) (m5). Obrazová tabule obsahuje zobrazení modelu do geografického prostoru (nahore), křivku ROC (vlevo dole) a tabulku podílu proměnných prostředí na vyvětlené variabilitě (vpravo dole).

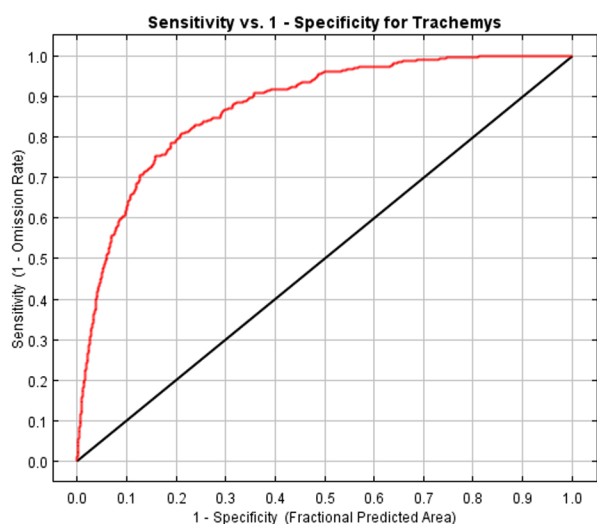
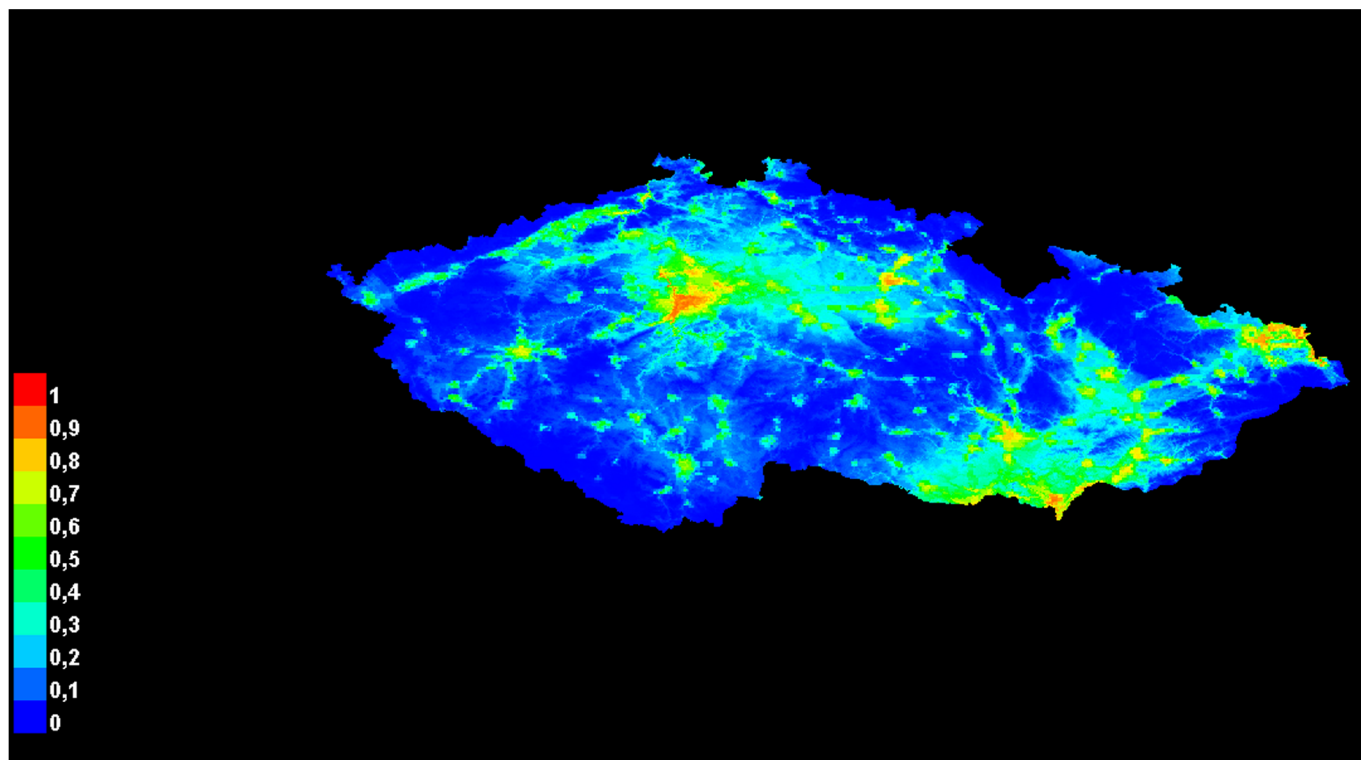


PROMĚNNÁ PROSTŘEDÍ	PODÍL VYVĚTLENÉ VARIABILITY
human footprint (hf)	49.7%
roční průměrná teplota (bio1)	48.6%
prům. roční úhrn srážek (prec)	1.7%

Obr. tab. 13

Charakteristiky modelu rozšíření *Trachemys scripta* v ČR, který měl při srovnání druhé nejvyšší AIC.

Model s druhým nejnižším AIC, který zahrnoval průměrnou roční teplotu (bio1), isothermalitu (bio3), nejnižší teplotu v nejchladnějším měsíci (bio6), roční teplotní rozsah (bio7) průměrné roční srážky (prec), human footprint (hf) (m20).
Obrazová tabule obsahuje zobrazení modelu do geografického prostoru (nahore), křivku ROC (vlevo dole) a tabulku podílu proměnných prostředí na vyvětlené variabilitě (vpravo dole).



Training data (AUC = 0.874) ■
Random Prediction (AUC = 0.5) ■

PROMĚNNÁ PROSTŘEDÍ	PODÍL VYVĚTLENÉ VARIABILITY
roční průměrná teplota (bio1)	47.6%
human footprint (hf)	43.1%
nejnižší teplota v nejchladnějším měsíci (bio6)	3.6%
roční teplotní rozsah (bio7)	2.6%
isothermalita (bio3)	2.3%
prům. roční úhrn srážek (prec)	0.9%

5. Diskuze

Modelování výskytu

Úspěšně naturalizované druhy plazů nacházejí v novém prostředí klimatické podmínky podobné těm, které panují v oblastech jejich přirozeného výskytu (Bomford et al. 2009). Výsledné mapy modelů BIOCLIM vytvořené na základě rozsahu průměrné roční teploty a průměrných ročních srážek ukázaly, že klimatické podmínky míst výskytů *Trachemys scripta* v České republice jsou blízko nejodlehlejším hodnotám zaznamenaných v areálu původního rozšíření. Jsou to takové oblasti předpovídaného výskytu, ve kterých je zahrnuto více míst, kde je rozšíření *Trachemys scripta* ve skutečnosti nepravděpodobné. Místa kde opravdu panují podmínky vhodné pro dlouhodobé přežívání a potenciální růst populace zde budou ojedinělá. To by mohlo znamenat, že na našem území většina BIOCLIMem (BIOCLIM2_us_to_eu_rec1) vymezeného území nebude vhodná pro úspěšnou inkubaci, avšak mohla by zde existovat srážkově a teplotně výjimečná místa, kde by se mohlo želvám *Trachemys scripta* podařit rozmnožit a založit dlouhodobě přežívající populaci. Rödder et al. (2009c) pomocí MaxEnt vymezili oblasti potenciálního rozšíření *Trachemys scripta* ve světě, které zahrnovaly místa v Evropě přibližně odpovídající zde uvedenému modelu BIOCLIM bez zahrnutí odlehlých hodnot (BIOCLIM2_us_to_eu_rec2). Avšak přesnost predikce těchto modelů pro území ČR byla horší než v jádrových oblastech či nevhodných územích, model zde rozhodoval s větší nejistotou (Rödder et al. 2009c). Vzhledem k povaze modelování pouze z dat o výskytu (pesence – only) modely postavené na datech o původním rozšíření vymezují oblasti, které jsou vhodné pro dlouhodobé přežívání populace taxonu. Zde představený bioklimatický model výskytu *Trachemys scripta* v ČR vymezuje území, kde jsou jednotlivé želvy *Trachemys scripta* schopné přežít alespoň do té doby, než jsou zaznamenány do databáze. Při srovnání modelů postavených na datech původního výskytu a na datech z ČR je tedy možné říci, že oblasti v ČR, kde želvy pozorujeme nejčastěji, jsou z hlediska klimatických podmínek krajně odlehlými územími potenciálního dlouhodobého výskytu *Trachemys scripta* v Evropě.

Podrobná analýza proměnných prostředí MaxEntem vysvětlující variabilitu rozmístění jedinců v krajině ČR ukázala v první řadě vysoký podíl lidského vlivu (hf) na rozšíření *Trachemys scripta*. Lidský vliv by se dal v tomto případě interpretovat

trojím způsobem: 1) je to vliv časové a prostorové dostupnosti pro vypuštění želvy, 2) vliv časové a prostorové dostupnosti pro pozorování želvy, 3) vliv limitující přežívání želvy. Na území severní Itálie byly na lidském působení silně závislé populace *Trachemys scripta*, které ještě nedosáhly naturalizace, zatímco naturalizované populace již závislost na lidském působení nevykazovaly (Ficetola et al. 2008). Jsou to ale charakteristiky lidské činnosti, které jako jediné signifikantě vysvětlují variabilitu v úspěšnosti naturalizace napříč širokým spektrem organismů (Pyšek et al. 2010). Počet nepůvodních druhů v chráněných oblastech světa je vyšší se stoupajícím počtem návštěvníků (Lonsdale 1999). Je důležité také si uvědomit, že lidská činnost může mít jiný vliv na původní taxony, než na nepůvodní. V současné době díky lidskému působení dochází ve velkém měřítku k rychlému úbytku biodiverzity (Chapin et al. 2000).

Darwin (1859) z hlediska diverzity původních taxonů uvažoval dvě hypotézy pro úspěch naturalizace. Ve své knize „On the origin of species“ nejdříve postuloval, že nepůvodní taxony jsou úspěšnější v podmínkách, které jsou velmi příhodné i pro taxony původní. V pozdější části knihy však vyslovil hypotézu, že nepůvodní druhy budou úspěšnější v prostředí s nižší diverzitou původních druhů stejné taxonomické skupiny, díky nižší kompetici mezi taxony. Tyto výroky jsou dnes známy pod termínem „Darwinova naturalizační hádanka“ (Darwin’s naturalization conundrum) (Diez et al. 2008). Hypotéza o větším úspěchu naturalizace taxonu v prostředí s nižší diverzitou se nazývá Darwinova naturalizační hypotéza (Darwin’s naturalization hypotheses) (sensu Pyšek et al. 2008). Elton (1958) pak vyslovil hypotézu, že naturalizace nepůvodních druhů je méně pravděpodobná v místech s vysokou diverzitou organismů. Tuto hypotézu nazýváme hypotézou biologické odolnosti (Biotic resistance hypotheses) (sensu Pyšek et al. 2008). Díky působení lidské činnosti by mohlo být možné, aby obě naturalizační hypotézy platily zároveň, pokud by lidské vlivy byly výhodnější pro nepůvodní druhy. Například je možné, že v dané oblasti panují velmi příhodné podmínky pro přežívání mnoha taxonů, které jsou však eliminovány lidskou činností (ztráta biotopů, fragmentace krajiny). Nepůvodní druhy by tak mohly mít volný prostor pro zakládání úspěšných populací i v místech s velkou diverzitou, avšak s oslabenými populacemi původních taxonů. V České republice například díky lidskému působení pravděpodobně došlo k vyhubení původních populací želvy bahenní (*Emys orbicularis*, Linnaeus, 1758) (Široký 2004), která by mohla být s *Trachemys scripta* v kompetici.

Trachemys scripta však oproti *Emys orbicularis* dorůstá větších rozměrů, pohlavně dospívá v nižším věku, je schopna vytlačit *Emys orbicularis* i z míst vhodných ke slunění a má širší potravní spektrum (Arvy et Servan 1998). Různé druhy sladkovodních želv se navzájem také mohou ovlivňovat pomocí chemických látek. *Trachemys scripta* je ale i v tomto případně ve výhodě před *Emys orbicularis* díky větší toleranci vůči přítomnosti těchto látek od ostatních druhů (Polo-Cavia et al. 2009). I v případě přítomnosti prosperujících původních populací želvy bahenní na území ČR by tak pravděpodobně tento druh nepředstavoval překážku pro úspěšné přežívání a případné rozmnožování *Trachemys scripta*.

Na územích, kde se *Emys orbicularis* v současné době vyskytuje *Trachemys scripta* představuje problém (Farkas et al. 2013, Isailović et Mesaroš 2013, Vamberger et al. 2013, Ficetola et al. 2013, Mollov et al. 2013, Thienpont et al. 2013, Šalamon et al. 2013, Teixeira et al. 2013, Ayres et al. 2013). Naprostá většina introdukovaných *Trachemys scripta* jsou vzrostlí jedinci. Proto také původní populace *Emys orbicularis* nestačí oddolávat masivnímu přísunu dospělých jedinců *Trachemys scripta*, kteří tak na lokalitách několikanásobně převyšují počty dospělých *Emys orbicularis* (LIFE-Trachemys 2012). Přísun diaspor (propagule pressure) je zásadním faktorem ovlivňujícím úspěšnost taxonu na novém území (Colautti et al. 2006). Studium faktorů ovlivňujících úspěšnost naturalizace plazů a obojživelníků potvrdilo, že hlavními faktory jsou: přísun diaspor (tzn. jedinců, vajec), taxonomická příslušnost a klimatické podmínky. Častěji vysazované druhy mají největší pravděpodobnost naturalizace (Bomford et al. 2009). Pokračující vysazování *Trachemys scripta* tak značně zvyšuje šance, že *Trachemys scripta* na novém území najde podmínky pro úspěšné rozmnožení. Pokud tedy na území ČR budou existovat podmínky pro úspěšné rozmnožování a pokud bude dále v čase pokračovat neustálý přísun nových jedinců *Trachemys scripta* do krajiny ČR, zvyšuje se i pravděpodobnost potenciální naturalizace.

Kromě lidského vlivu se na vysvětlené variabilitě modelů MaxEntu podílely velmi významně průměrná teplota (bio1) a nadmořská výška (alt). Dva ze tří nejlepších modelů však nadmořskou výšku vůbec nezahrnovaly. Celkově v analýze vyšly lépe modely, kde nadmořská výška vůbec nebyla zahrnuta. Naopak model, který zahrnoval pouze nadmořskou výšku, ale žádnou bioklimatickou proměnnou, měl nejhorší AIC i BIC. V modelech, kde byla nadmořská výška zahrnuta společně s bioklimatickými proměnnými, mohla díky korelacím ovlivnit jejich podíl na vysvětlené variabilitě. Tento zástupný vztah bioklimatických charakteristik a nadmořské výšky by mohl být

způsoben: 1) tím, že obecně jsou bioklimatické faktory s nadmořskou výškou velmi úzce spjaty 2) tím, že na našem území byly pro interpolace hodnot bioklimatických proměnných Worldclim použity měření pouze ze tří meteorologických stanic (Hijmans et al. 2005). V případě malého pokrytí území odpovídají hodnoty Worldclim právě nadmořské výšce díky metodice interpolace klimatických proměnných (Varela 2013).

Mezi dalšími proměnnými, které výrazněji vysvětlovaly rozmístění jedinců *Trachemys scripta* v krajině ČR se objevily i charakteristiky chladných částí roku. Na našem území chladné teploty tedy mají vliv na přežívání vysazených jedinců želvy. Průměrné roční úhrny srážek měly ve všech třech finálních modelech na vysvětlené variabilitě malý podíl. To ovšem neznamená, že v původním areálu rozšíření průměrné srážky nepředstavují omezení výskytu. V podmínkách České republiky ale průměrné roční srážky nebudou mít vliv na rozmístění jedinců v krajině.

Měření teplot substrátu

Přímé měření teplot substrátu ukázalo, že se průměrné hodnoty bioklimatických proměnných pro jednotlivé lokality načtené z Worldclim (wc) se pro průměrnou roční teplotu (bio1) a nejnižší teplotu v nejchladnějším měsíci (bio6) signifikantně lišily od hodnot naměřených v terénu (m). Marginální efekt byl patrný i pro nejvyšší teplotu v nejteplejším měsíci (bio5). Vzorek měřených lokalit nebyl příliš velký a jednalo se o měření pouze z jednoho roku, avšak i tak je patrné, že porovnávat území na základě průměrných interpolovaných hodnot z databází nemusí představovat nejlepší způsob jak rozhodnout o úspěchu taxonů, zejména v okrajových oblastech.

Na příkladu minimální teploty v nejchladnějším měsíci (bio6) je vidět, že se teploty naměřené v terénu výrazně odlišují od hodnot z databáze Worldclim. Na jediné lokalitě CRARC se hodnota z Worldclimu přibližně shodovala s hodnotou naměřenou v terénu. Pro ostatní lokality byly hodnoty z databáze o celé stupně nižší než teploty měřené v terénu. Tato odlišnost by se mohla dát interpretovat jako vliv umístění pod povrchem v substrátu, který by mohl zmírňovat dopady nízkých teplot vzduchu. Rödder et al. (2009b) konstatovali, že na území původního rozšíření je variabilita teplot nejvyšší v chladných měsících. Zimní měsíce nevysvětlovaly žádnou variabilitu v rozšíření *Trachemys scripta* v severní Itálii (Ficetola et al. 2008). Teplota vzduchu v nejchladnějších měsících roku neovlivňuje želvy přímo. Želvy jsou schopné úspěšně přezimovat i v oblastech, kde klesají teploty pod fyziologický práh normálního fungování organismu, pomocí fyziologických přizpůsobení. Nízké teploty pak mohou

ovlivňovat život želv zejména délkou trvání (Jackson 2011). Severní hranice rozšíření *Trachemys scripta* by mohla být daná schopností tolerance minimálních teplot mláďaty (Packard et al. 1997). U duhů želv, jejichž areál rozšíření zasahuje do oblastí, kde brzy po skončení inkubace nastanou velmi chladné podmínky, zimují mláďata první sezónu v hnízdě (např. Constanzo et al. 2006). Mláďata *Trachemys scripta* jsou náchylná na teploty pod $-0,6^{\circ}\text{C}$ (Constanzo et al. 2006). Tato hranice nebyla dle měření překročena na lokalitách CRARC, Grébovka, Piešťany, ZOO Zagreb a ZOO Děčín. Po srovnání naměřených minimálních hodnot a minimálních hodnot z databáze je třeba vyslovit, že nelze srovnávat minimální teploty vzduchu s minimálními teplotami v substrátu. Pokud bych např. zvažoval hodnoty teplot vzduchu z Worldclim jako limitující faktor pro přežívání mláďat *Trachemys scripta*, mohl bych snadno podcenit areál možného přežití nebo rozmnožování.

V případě průměrné roční teploty (bio1) ale takto jednoznačně výsledky interpretovat nejde. Na lokalitě Piešťany je ve Worldclim přiřazena hodnota bio1 wc=8,7°C. V sezóně 2012-2013 zde však byla naměřena průměrná roční teplota 18,13°C. Podobně výrazný rozdíl v průměrné roční teplotě byl i pro Botanickou zahradu UK. Hodnoty z databáze se od naměřených lišily méně výrazně na lokalitách vinice Grébovka a ZOO Zagreb. Pro lokality CRARC, vinice Vehlovice a ZOO Děčín naměřené hodnoty odpovídaly přibližně hodnotám z Worldclim. Pro všechny lokality s výjimkou vinice Vehlovice a CRARC byly naměřené hodnoty průměrné roční teploty vyšší. Pro tyto rozdíly by mohla existovat tři možná vysvětlení: 1) díky interpolaci Worldclim podhodnocuje průměrné teploty pouze na některých lokalitách měření 2) sezóna 2012-2013 byla na některých lokalitách výjimečně teplá oproti průměrným teplotám z Worldclim 3) na průměrné teplotě substrátu se podílí více faktorů, než pouze klimatické podmínky, např. typ substrátu. Avšak zobecnění není možné udělat pro nedostatek měření.

V průběhu let se objevily v ČR záznamy pozorovaných juvenilních jedinců. Je ale stále otázkou, jestli na našem území doopravdy existují místa, kde by byla úspěšná inkubace v přírodních podmínkách možná nebo se jedná o pozorování v zajetí vylíhlých juvenilních jedinců. Přímé měření teplot substrátu na lokalitách v sezóně 2011 ukázalo, že na lokalitách, kde byly pokusy o rozmnožení hlášeny, nebylo dosaženo potřebné sumy teplot (SET) nad spodním prahem vývoje pro dokončení inkubace. V roce 2011 byla největší suma teplot na lokalitách Proboštské jezero a vinice Vehlovice. SET by v roce 2011 pravděpodobně nebylo dosaženo ani v případě, že bychom teploty substrátu

měřili po delší dobu než jen od 16. 7. do 30. 9. To ukázalo měření v sezóně 2012-2013, kdy během období od 16. 7. do 30. 9. byla naměřena na všech sledovaných lokalitách přibližně pouze polovina sumy teplot období od 1. 4. do 30. 9. V sezóně 2012-2013, ale SET na území ČR dosaženo bylo na lokalitách vinice Grébovka a Botanická zahrada UK i v případě, že by zde želvy kladly po 1. 7. 2013. Na lokalitách vinice Vehlovice a ZOO Děčín však ani v této sezóně SET dosaženo nebylo. Na lokalitě Vehlovice byla dokonce suma teplot nad spodním prahem výrazně nižší než v předcházející sezóně. V průběhu roku zde teploty téměř nevystupovaly nad spodní práh vývoje. Je otázkou, zda měření nebylo narušeno např. navršením substrátu nad měřicí místo nebo zakrytím místa jiným materiálem. Při vyzvedávání zařízení pro odečet měření nebyly na lokalitě zjištěny žádné okolnosti, které by mohly pozměnit průběh měření.

V sezóně 2012-2013 bylo také měřeno na lokalitách, kde byla úspěšná inkubace již pozorována (CRARC) a kde byla očekávaná (Piešťany, ZOO Zagreb). Úspěšné líhnutí bylo v roce 2012 hlášeno z lokalit CRARC (Katalánsko), kde se kolem měřicího zařízení nacházely minimálně tři hnízda *Trachemys scripta* do vzdálenosti 1m. Snášení vajec probíhalo v červnu 2012. Čtrnáct jedinců se z hnízd vylíhlo v září 2012, tři jedinci byli nalezeni v hnízdě v březnu 2013, mláďata neměla viditelné deformace krunyře (Soler in litt.). Při porovnání hodnot sum teplot nad spodním prahem vývoje (Suma nad 17) je patrné, že aby došlo k dosažení SET, musí být vejce snesena dříve než 1. 7. 2012. Je také patrné, že během prvních 16 dní července zde byla suma nad spodním prahem vývoje 79, což při přičtení k sumě mezi 1. 7. do 30. 9 2012 dává téměř SET a potvrzuje kladení v průběhu června. Výsledné hodnoty sum teplot nad spodním prahem jsou tedy ve shodě s přímým pozorováním líhnutí *Trachemys scripta* v Katalánsku. Na lokalitě ZOO Zagreb byla v průběhu podzimu 2012 a na jaře 2013 pozorována tři čerstvě vylíhlá mláďata (Cizelj in litt.). V případě Záhřebu se jedná o první potvrzený záznam líhnutí na území Chorvatska. Výsledky ukazují, že *Trachemys scripta* zde musely klást nejpozději 1. 7. 2012, aby mohla být SET alespoň přibližně dosažena. Na lokalitě Piešťany (Slovensko) Bóriková vyslovila hypotézu o úspěšné inkubaci (Vráblová 2005) a doložila ji i fotografickou dokumentací juvenilních jedinců v tůních. Měření v roce 2012 tuto hypotézu nevyvrátilo, naopak hodnoty zde naměřené hovoří ve prospěch úspěšné inkubace. SET zde bylo dosaženo již v termínu od 1. 7. do 30. 9. 2012. Můžeme snad tedy vyslovit, že v Piešťanech teplotní podmínky nejsou bariérou pro množení *Trachemys scripta* a vzhledem k pravidelnému pozorování juvenilních jedinců a hojnosti výskytů adultních *Trachemys scripta* v Piešťanech a okolí (Bóriková pers.

comm.), jsou zde tyto želvy těsně před dovršením úspěšné naturalizace nebo již úspěšně naturalizované. To se může významněji projevit až časem.

Při porovnání sum teplot nad spodním prahem vývoje (Suma nad 17) a sum teplot nad spodním prahem vývoje bez dní, ve kterých bylo více jak 32°C (Suma nad 17 pod 32), se ukázalo, že na lokalitě Botanická zahrada UK byly sumy teplot výrazně ovlivněny extrémně teplými dny. Na rozdíl ode všech ostatních lokalit, při nezapočítání extrémně teplých dnů, zde v rozmezí od 1. 4. do 30. 9. 2012 poklesla suma teplot nad spodním prahem vývoje až o polovinu. V případě, že byly dataloggery umístěny přímo na místa jednotlivých snůšek (CRARC, ZOO Zagreb) nedošlo k tomuto poklesu vůbec. To je zajímavé, protože by to mohlo znamenat, že *Trachemys scripta* umísťují své snůšky na místa, kde teploty v průběhu inkubace nepřekročí výrazně horní mez optimálního teplotního rozpětí (ODR). Šandera (Polabské muzeum) pozoroval v obci Pátek u Poděbrad místa tří snůšek *Trachemys scripta*. Vejce však nebyla snesena na nejvíce osluněné místo na lokalitě, nýbrž do polostínu, zřejmě právě kvůli ochraně před extrémně vysokými teplotami, které by mohly poškodit snůšku. V konečném důsledku ale právě na takových místech bude SET dosaženo jen s malou pravděpodobností (Šandera in verb.). Na lokalitě PP Betlém podobnou zkušenost měl i Šebela. Jeho hypotéza však byla, že želvy z terárií se cítí bezpečněji, pokud jsou kryté stěnou či stříškou, při kladení tak hledají zejména bezpečí (Šebela in verb.). Na území ČR by tedy mohla nastávat situace, že na místech kde by potenciálně mohlo být dosaženo SET, nebudou želvy *Trachemys scripta* z nějakého důvodu záměrně klást svoje snůšky. Teplotní podmínky pro úspěšné dokončení inkubace byly naměřeny na lokalitě vinice Grébovka v Praze. Zde zároveň naměřené hodnoty nepřekročily hranici tolerance mláďat k chladným teplotám. Je to tedy místo, kde by po teplotní stránce v sezóně 2012-2013 mohlo potenciálně dojít k úspěšné inkubaci *Trachemys scripta*.

Další studium ekologie a etologie *Trachemys scripta* by mohlo přinést podrobnější vhled do možností naturalizace *Trachemys scripta* na našem území. Zásadními kroky by mohly být: mechanistický model niky *Trachemys scripta*; podrobnější a déle trvající měření substrátu na území Evropy; studium výběru snůškových míst želvami na našem území a studie přežívání dospělců a snůšek v prostředí ČR.

6. Závěr

Areál dlouhodobého přežívání *Trachemys scripta* zahrnuje na své severní hranici území Německa, Dánska, ČR, Polska, Slovenska, Maďarska a Ukrajiny. Jedná se o extrémní okraj potencionální naturalizace želv na území Evropy v současném čase. V oblastech okrajového potenciálního rozšíření panuje velká nejistota o rozmnožování *Trachemys scripta*. Ve vymezené oblasti je šance pro souhrn událostí ve prospěch úspěšné naturalizace menší než ve zbytku predikovaného areálu. Nejpříhodnější oblasti v ČR a rozsah hodnot přírodních podmínek tvoří právě extrémní okraj potenciálního rozšíření. Rozmístění jedinců *Trachemys scripta* na našem území nejvíce ovlivňují: lidská činnost, průměrná roční teplota a teplotní charakteristiky chladných období. Na příkladu České republiky zde prezentované výsledky ukazují, že přímé měření proměnných na lokalitách doplněné dlouhodobým pozorováním a sledováním výskytu může v takových oblastech přinést větší jistotu při posuzování možností reprodukce *Trachemys scripta*. Výsledky měření teplot substrátu na lokalitách přinesly poznatek, že na území České republiky je na některých místech možné dosáhnout teplotní sumy pro úspěšnou inkubaci. Místa, kde bylo v průběhu měření dosaženo sumy efektivních teplot na území ČR, jsou urbánními biotopy. Populace *Trachemys scripta* je na našem území stále silně závislá na neustálých nových introdukcích. Pokud ale bude tato situace trvat dlouhodobě i v budoucnosti, nelze vyloučit, že se podaří želvám nalézt podmínky pro založení stabilní populace – naturalizaci. Podíl na možnostech úspěšného rozmnožování by mohlo mít i chování jednotlivých vysazených jedinců v novém prostředí. *Trachemys scripta* lze považovat za přechodně zavlečený kryptogenní nepůvodní druh (casual species

7. Literatura

- Araújo M.B. et Guisan A. (2006): Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography* 33: 1677-1688.
- Arvy C. et Servan J. (1998): Imminent competition between *Trachemys scripta* and *Emys orbicularis* in France. In: Fritz U., Joger U., Podloucky R., Servan J. (eds.): Proceedings of the EMYS Symposium Dresden 96 - Mertensiella, 10: 33-40.
- Austin M.P. (2002): Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling* 157:101-118.
- Ayres C., Alvarez A., Ayllon E., Bartolero A., Buenetxea X., Cordero-Rivera A., Curco-Masip A., Duarte J., Farfan M.A., Ferrandez M., Franch M., Fortuño L., Guerrero J., Hernandez-Sastre P.L., Lacomba I., Lorente L., Miguelez-Carbajo D., Pinya S., Rada V., Romero D., Sanchez J., Sancho V., Valdeon A. (2013): Conservation projects for *Emys orbicularis* in Spain. *Herpetology notes* 6: 157-164.
- Bartolero A. et Oro D. (2009): Conservation diagnosis of reintroducin Mediterranean pond turtles: What is wrong? - *Animal Conservation* 12: 581-591.
- Blackburn T.M., Pyšek P., Bacher S., Carlton J.T., Duncan R.P., Jarošík V., Wilson J.R.U., Richardson D.M. (2011): A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution* 27(7): 333-339.
- Bomford M., Kraus F., Barry S.C., Lawrence E. (2009): Predicting establishment success for alien reptiles and amphibians: a role for climate matching. *Biological Invasions* 11: 713-724.
- Brejcha J., Miller V., Jeřábková L., Šandera M. 2009: Výskyt *Trachemys scripta* na území ČR. *Herpetologické informace* 8(1): 14-29.
- Brejcha J., Miller V., Jeřábková L., Šandera M. 2010: Zaznamenávání výskytu želvynádherné (*Trachemys scripta*) na území ČR v roce 2010. *Herpetologické informace* 9(1): 18-24.
- Bringsøe H. (2006): NOBANIS - Invasive alien species fact sheet - *Trachemys scripta*. Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species-Nobanis, www.nobanis.org, 5.1. 2009.
- Bruekers J., Uijtterschout G., Brouwer A. (2006): First record of the red - eared slider (*Trachemys scripta elegans*) breeding in the wild on the island Kos (Greece). *Schildkröten im Fokus, Bergheim* 3(3): 29-34.

- Bugter R.J.F., Ottburg F.G.W.A, Roessink I., Jansman H.A.H., van der Grift E.A., Griffioen A.J. (2011): Invasion of the turtles? Exotic turtles in the netherlands: a risk assessment. Altera report 2186. Alterra, Wageningen. 91pp.
- Busby J.R. (1991): BIOCLIM - a bioclimatic analysis and prediction system. In: Margules C.R. et Austin M.P. (eds.): Nature conservation: Cost effective biological surveys and data analysis. East Melbourne, Australia:CSIRO. Pp.64-68.
- Carpenter G., Gillison A.N., Winter J. (1993): DOMAIN: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity and Conservation* 2: 667-680
- Clark J.S., Carpenter S.R., Barber M., Collins S., Dobson A., Foley J.A., Lodge D.M., Pascual M., Pielke R. Jr., Pizer W., Pringle C., Reid W.V., Rose K.A., Sala O., Schlesinger W.H., Wall D.H., Wear D. (2001): Ecological forecasts: An Emerging imperative. *Science* 293: 657-660
- Colautti R.I., Grigorovich I.A., MacIsaac H.J. (2006): Propagule pressure: a null model for biological invasions. *Biological Invasions* 8: 1023-1037.
- Constanzo J.P, Baker P.J., Lee Jr R.E. (2006): Physiological responses to freezing in hatchlings of freeze-tolerant and -intolerant turtles. *Journal of Comparative Physiology B* 176: 697-707
- Diez J.M., Sullivan J.J., Hulme P.E., Edwards G., Duncan R.P. (2008): Darwin's naturalization conundrum: dissecting taxonomic patterns hypotheses about plant naturalization. *Ecology letters* 11: 674-681.
- Elith J., Graham C.H., Anderson R.P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R.J., Huettmann F., Leatwick J.R., Lehmann A., Li J., Lohmann L.G., Loiselle B.A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J. McM., Peterson A.T., Phillips S.J., Richardson K.S., Scachetti-Pereira R., Schapire R.E., Soberón J., Williams S., Wisz M.S., Zimmermann N.E. (2006): Novel methods improve prediction of species distributions data. *Ecography* 29: 129-151.
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T., Dudík M., Chee Y.E., Yates C.J. (2011): A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17: 43-57.
- Elton C.S. (1958): *The Ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London. 181 pp.
- ESRI (2008): *ArcGIS for Desktop: Release 9.3*. Redlands, Environmental Systems Research Institute.

- Faber O. et Kadmon R. (2003): Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling* 160: 115-130.
- Farkas B., Halpern B, Agócs P., Dankovics R., Földi A., Gulócsi E., Györfly G., Kalmár Zsófia, Kiss István, Kovács T., Lovász Z.E., Molnár L., Molnár T.G., Péchy T., Somlai T., Torvajai L. (2013): Conservation activities for European pond turtles (*Emys orbicularis*) in Hungary. *Herpetology notes* 6: 107-110.
- Feldman M.L. (2007): The red - eared slider turtle (*Trachemys scripta elegans*) in New Zealand. *Turtle and Tortoise Newsletter* 10: 15-18.
- Ficetola G.F., Monti A., Padoa-Schioppa E. (2002): Prima segnalazione di riproduzione di *Trachemys scripta elegans* nel Delta del Po. *Annals of the Civic Museum of Natural History of Ferrara* 5: 125-128.
- Ficetola G.F., Thuiller W., Padoa-Schioppa E. (2008) From introduction to the establishment of alien species: bioclimatic differences between presence and reproduction localities in the slider turtle. *Diversity and Distributions* 15: 108-116.
- Franklin J. (2010): Mapping species distributions: Spatial inference and prediction. Cambridge University Press. 320 pp.
- Ficetola G.F., Salvidio S., D'Angelo S., Bonardi A., Bottoni L., Canalis L., Crosetto S., Di Martino S., Ferri V., Filetto P., Genta P., Jesu R., Masin S., Mazzoti S., Ottonello D., Richard J., Sala L., Scali S., Tedaldi G., Vianello F. (2013): Conservation activities for European and Sicilian pond turtles (*Emys orbicularis* and *Emys trinacris*, respectively) in Italy. *Herpetology notes* 6: 127-133.
- Fritz U. et Chiari Y. (2013): Conservation actions for European pond turtles - a summary of current efforts in distinct European countries. *Herpetology notes* 6: 105.
- Georges A., Limpus C., Stoutjesdijk R. (1994): Hatchling sex in the marine turtle *Caretta caretta* is determined by proportion of development at a temperature, not daily duration of exposure. *Journal of Experimental Zoology* 270: 432-444.
- Gist D. H., Jones J. M. 1989: Sperm storage within the oviduct of turtles. *Journal of Morphology* 199(3): 379-384.
- Grinnell J. (1917): The niche - relationship of the California Thrasher. *Auk* 34: 427-433.
- Gvoždík V. (2003): Želva nádherná jako zvíře domácí. *Akvárium Terárium* 46(12): 62-67.
- Gvoždík V. (2005): Zkušenosti s inkubací vajec želv *Trachemys scripta elegans*. *Akvárium Terárium* 48(2):50-52.

- Haitao S., Parham J.F., Zhiyong F., Meiling H., Feng, Y(2008): Evidence for massive scale of turtle farming in China. *Oryx-International Journal for Conservation* 42(1): 147-150.
- Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. (2005): Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J. (2011): Package "dismo". Cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html. 12. 7. 2013.
- Hijmans R.J. et Elith J. (2013) Species distribution modeling with R. Cran.r-project.org/web/packages/dismo/vignettes/sdm.pdf. 8.7.2013.
- Hirzel A.H., Hausser J., Chessel D., Perrin N. (2002): Ecological - niche factor analysis: hot to compute habitat - suitability maps without absence data? *Ecology* 83: 2027-2036.
- Hutchinson G.E. (1957): Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposia on Quantitative Biology* 22: 415-427.
- Chapin III F.S., Zavaleta E.S., Eviner V.T., Naylor R.L., Vitousek P.M., Reynolds H.L., Hooper D.U., Lavorel S., Sala O.E., Hobbie S.E., Mack M.C., Díaz S. (2000): Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234-242.
- Chen T.H. et Lue K.Y. (1998): Ecological notes on feral populations of *Trachemys scripta elegans* in northern Taiwan. *Chelonian Conservation and Biology* 3(1): 87-90.
- Cheung S.M. et Dudgeon D. (2006): Quantifying the Asian turtle crisis: Market surveys in southern China, 2002-2003. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 16: 751-770.
- Isailović J.C. et Mesaroš G. (2013): Conservation activities for the European pond turtles (*Emys orbicularis*) in Serbia. *Herpetology Notes* 6: 119-121.
- Jackson D.C. (2011): *Life in the shell: A physiologist's view of a turtle*. Harvard university press, Cambridge, London. 178pp.
- Jarošík V., Honěk A., Dixon, A.F.G., 2002: Developmental rate isomorphy in insects and mites. *American Naturalist*, 160: 497-510.
- Jarošík V., Kratochvíl L., Honěk A., Dixon A.F.G., 2004: A general rule for the dependence of developmental rate on temperature in ectothermic animals. *Proceedings of the Royal Society London B (Supplementum)*, 271: S219-S22.
- Kearney M. et Porter W.P. (2004): Mapping the fundamental niche: Physiology, climate and the distribution of a nocturnal lizard. *Ecology* 85(11): 3119-3131.

- Kearney M. et Porter W.P. (2009): Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species ranges. *Ecology Letters* 12: 334-350.
- Kowarik I. et Pyšek P. (2012): The first steps towards unifying concepts in invasion ecology were made one hundred years ago: revisiting the work of the Swiss botanist Albert Thellung. *Diversity and Distributions* 18: 1243-1252.
- Kozak K.H., Graham C.H., Wiens J.J. (2008): Integrating GIS - based environmental data into evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution* 223: 141-148.
- Krofel M., Cafuta V., Planinc G., Sopotnik M., Šalamun A., Tome S., Vamberger M., Žagar A. (2009): Razširjenost plazicev v Sloveniji: pregled podatkov, zbranih do leta 2009. *Natura Sloveniae* 11(2): 61-99.
- Lehmann A., Overton J.M. Leathwick J.R. (2002): GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction. *Ecological Modelling* 157: 189 – 207.
- Les H.I., Paitz R.T., Bowden R.M. (2007): Experimental test of the effects of fluctuating incubation temperatures on hatchling phenotype. *Journal of Experimental Zoology* 307A: 274-280.
- Les H.I., Paitz R.T., Bowden R.M. (2009): Living at extremes: development at the edges of viable temperature under constant and fluctuating conditions. *Physiological and Biochemical Zoology* 82(2): 105-112.
- LIFE-Trachemys (2012): Guia Metodológica Para la Captura y Manejo de Galápagos. Informes LIFE-Trachemys № 8. Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient; Valencia, Spain. pp. 31
- Lonsdale W.M. (1999): Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology* 80(5): 1522-1536.
- Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M. (2004): 100 of the World's Worst Invasive Alien Species A selection from the Global Invasive Species Database. Invasive Species Specialist Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN). 12pp.
- Ludwig D. (1928): The effects of temperature on the development of an insect (*Popilia japonica Newman*)
- MacKenzie D.I., Nichols J.D., Lachman G.B., Droege S., Royle A., Langtimm C.A. (2002): Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83: 1101-1113.

- Miller V., Brejcha J., Jeřábková L., Šander M. (2011): Zaznamenávání výskytu nepůvodních druhů sladkovodních želv na území ČR v roce 2011. Herpetologické informace 10(2). In press.
- Mollov I.A., Naumov B. Y., Dobrev D. D., Popgeorgiev G.S. (2013): Conservation activities for the European pond turtles (*Emys orbicularis*) in Bulgaria. Herpetology notes 6: 135-138.
- New M., Lister D., Hulme M., Makin I. (2002): A high - resolution data set of surface climate over global land areas. Climate Research 21: 1-25.
- Newberry R. (1984): The American red - eared terrapin in South Africa. African Wildlife 38: 186-189.
- OTA, Office of Technology Assessment, U.S. Congress (1993): Harmful non-indigenous species in the United States. OTA-F-565, Washington DC. 391 pp.
- Outerbridge M.E. (2008): Ecological notes on feral populations of *Trachemys scripta elegans* in Bermuda. Chelonian Conservation and Biology 7(2): 265-269.
- Packard G.C., Tucker J.K, Nicholson D., Packard M.J. (1997): Cold tolerance in hatchling slider turtles (*Trachemys scripta*). Copeia 2: 339-345.
- Parrot D. et Roy S. (2009): A preliminary assessment of non-native species pathway - UK internet pet trade. Central Science Laboratory Final Report. 29 pp.
- Pearse D. E., Avise J. C. 2001: Turtle mating systems: Behavior, sperm storage, and genetic paternity. The American genetic association 92: 206-211.
- Perez-Santigosa N., Díaz-Panaigua C., Hildago-Vila J. (2008): The reproductive ecology of exotic *Trachemys scripta elegans* in an invaded area of southern Europe. Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 18: 1302-1310.
- Perry G., Owen J. L, Petrovic C, Lazell J., Egelhoff J. (2007): The red-eared slider, *Trachemys scripta elegans*, in the British Virgin Islands. Applied Herpetology 4: 88-89.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190: 231-259.
- Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'Connell C., Wong E., Russel L., Zern J. Aquino T., Tsomondo T. (2001): Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. Agriculture, Ecosystems and Environment 84: 1-20.

- Pluess T., Cannon R., Jarošík V., Pergl J., Pyšek P., Bacher S (2012): When are eradications campaigns successful? A test of common assumptions. *Biological Invasions* 14: 1365-1378.
- Polo-Cavia N., López P., Martín J. (2009): Interspecific differences in chemosensory responses of freshwater turtles: consequences for competition between native and invasive species. *Biological Invasions* 11: 431-440.
- Puky M., Gemési D., Schád P. (2004): Distribution of *Emys orbicularis* in Hungary with notes on related conservational and environmental education activities. *Biologia, Bratislava* 59 (14) Suppl.: 55-60.
- Puppins M. (2007): First report on recording of the invasive species *Trachemys scripta elegans*, a potential competitor of *Emy orbicularis* in Latvia. *Acta Universitatis Latviensis, Biology* 723: 37-46.
- Puth L.M. et Post D.M. (2005): Studying invasions: have we missed the boat? *Ecology Letters* 8: 715-721.
- Pyšek P., Chytrý M., Moravcová L., Pergl J., Perglová I., Prach K., Skálová H. (2008): Návrh české terminologie vztahující se k rostlinným invazím. *Zprávy České Botanické Společnosti, Praha* 43(23) Materiály: 219-222.
- Pyšek P., Jarošík V., Hulme P.E., Kühn I., Arianoutsou M., Bacher S., Chiron F., Didžiulis V., Essl F., Genovesi P., Gherardi F., Hejda M., Kark S., Lambdon P.W., Desprez-Loustau M.-L., Nentwig W., Pergl J., Poboljšaj K., Rabitsch W., Roques A., Roy D.B., Shirley S., Solarz W., Vilà M., Winter M. (2010): Disentangling the role of environmental and human pressures on biological invasions across Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(27): 12157-12162.
- R Development Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing 2.15.3 ed. Vienna, Austria <http://www.R-project.org>, R Foundation for Statistical Computing
- Rangel T.F.L.V.B., Diniz-Filho J.A.F., Bini L.M. (2006): Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecology and Biogeography* 15: 321-327.
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M., Barbour M.G., Panetta F.D., West C.J. (2000): Naturalization and invasion of alien plants: concept and definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93-107.
- Rödder D. (2009a): How to predict the future? On niches and potential distributions of amphibians and reptiles in a changing climate. *Disertation zur Erlangung des*

Doktorgrades (Dr. Rer. Nat.) der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrichs-Wilhelms-Universität Bonn.

Rödger D., Kwet A., Lötters S. (2009b): Translating natural history into geographic space: a macroecological perspective on the North American Slider, *Trachemys scripta* (Reptilia, Cryptodira, Emydidae). *Journal of Natural History* 43(39): 2525 – 2536.

Rödger D., Schmidtlei S., Veith M., Lötters S. (2009c): Alien invasive turtle in unpredicted habitat: A matter of niche shift or of predictors studied? *PloS ONE* 4(11): e7843. doi:10.1371/journal.pone.0007843

Rollinson N., Farmer R. G., Brooks R. J. 2012: Widespread variation in North American turtles: temperature, egg size and optimality. *Zoology* 115: 160-169.

Shacham B. et Hatzofe O. (2008): The red - eared slider, *Trachemys scripta elegans*, in Israel. *Applied Herpetology* 5: 199-200.

Snyder Ch.D. (1911): On the meaning of variation in the magnitude of temperature coefficients of physiological processes. *American Journal of Physiology* XXVIII: 167-175.

Soberón J. (2007): Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10: 1115-1123.

Soberón J. et Peterson A.T. (2005): Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2: 1-10.

Stockwell D.R.B. et Peters D.P. (1999): The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13: 143-158.

Swets J.A. (1988): Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science* 240 (4857): 1285-1293.

Šalamon D., Hutinec B.J., Lončar M. (2013): Conservation activities for the European pond turtles (*Emys orbicularis*) in Croatia. *Herpetology notes* 6: 149-152.

Šandera M. & Zicha O. 2007: Mapování výskytu oboživelníků a plazů v ČR na Biolibu v roce 2006. *Herpetologické Informace* 6(1): 30-41.

Široký P., Stuchlík S., Moravec J. (2004): Current situation and Peistocene, Holocene and historic records of *Emys orbicularis* in the Czech Republic. *Biologia, Bratislava* 59 (14) Suppl.: 73-78.

Šuhaj J., Stolarczyk J., Vlček P. 2006: Nález želvy nádherné *Trachemys scripta* (Reptilia: Testudines: Emydidae) v České republice. *Časopis Slezského Muzea Opava* (A) 55: 269-277.

- Teixeira J., Martins B., Palhas J., Alves A., Azevedo F. (2013): Conservation activities for the European pond turtle (*Emys orbicularis*) in Portugal. *Herpetology notes* 6: 153-155.
- Telecky M.T. (2001): United states impor and export of live turtles and tortoises. *Turtle and Tortoise Newsletter* 4: 8-13.
- Thienpont S., Vacher J.-P., Berroneau M., Miquet A., Barthe L., Caillebotte A., Lerat D., Gendre T., Owen-Jones Z., Marandon J.-L., Quesada R. (2013): Conservation for European pond turtles (*Emys orbicularis*) in France. *Herpetology notes* 6: 139-141.
- Tilman D., May R.M. Lehman C.L. Nowak M.A. (1994) Habitat destruction and the extinction debt. *Nature* 371: 65-66.
- Townsend C.R., Begon M., Harper J.L. (2010): *Základy ekologie*. Univerzita Palackého v Olomouci. 505 pp.
- Tucker J.K. (1997): Natural history notes on nesting, nests, and hatchling emergence in the Red-eared slide turtle, *Trachemys scripta elegans*, in West-central Illinois. *Illinois natural history survey biological notes* 140. 13pp.
- Vamberger M., Lipovšek G., Gregorič M. 2012: First reproduction record of *Trachemys scripta* (Schoepff 1792), in Slovenia. *Herpetozoa* 25(1): 76-79.
- Vamberger M., Pabolšaj K., Govedovič M., Šabec N.D., Žagar A. (2013): Conservation activities for European pond turtles (*Emys orbicularis*) in Slovenia. *Herpetology notes* 6: 123-126.
- Varela S. (2013): *Macroecology and species distribution models*. Department of Ecology, Charles University in Prague. Ostrava. 58 pp.
- Vitousek P.M., Dantonio C.M., Loope L.L. Rejmánek M., Westbrooks R. (1997): Introduced species: A signifikant component of human caused global change. *Nez Zealand Journal of Ecology* 21: 1-16.
- Vráblová E. (2005): *Korytnačka písmenková (Trachemys scripta elegans) na území mesta Piešťany*, Diplomová práca, Fakulta prírodných vied, Katedra ekológie a enviromentalistiky, UKF Nitra. 47pp.
- Warren D.L., Glor R.E., Turelli M. (2010): ENMTools: a toolbox for comparative studies of enviromental niche models. *Ecography* 33(3): 607-611.
- WCS et CIESIN, Wildlife Conservation Society and Center for International Earth Science Information Network, Columbia University (2005): Last of the wild project, version 2, 2005(LWP-2): Global Human Footprint Dataset (Geographic). NASA Socioeconomic Data and Application Center

(SEDAC).<http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/wildareas-v2-human-footprint-geographic>. 17. 1. 2011.

Williamson et Fitter (1996): The varying success of invaders. *Ecology* 77: 1661-1666.