



ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Predikce rizikových míst na silnicích pro obojživelníky

Diplomová práce

Autor: **Bc. Pavel Hudousek**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří Vojar, Ph.D.**

Praha 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra ekologie

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pavel Hudousek

Aplikovaná ekologie

Název práce

Predikce rizikových míst na silnicích pro obojživelníky

Název anglicky

Prediction of dangerous road sections for amphibians

Cíle práce

Obojživelníci patří mezi nejvíce ohrožené skupiny obratlovců. Jednou z významných příčin ohrožení je jejich mortalita na komunikacích. Ke střetům s vozidly dochází zejména na frekventovaných silnicích v době jarního tahu dospělců na místa rozmnožování a zpět, ale i v době letního tahu metamorfovaných mláďat. Základem ochrany obojživelníků před dopravou je evidence rizikových úseků a aplikace vhodných opatření na nejohroženějších místech (dočasné zábrany, naváděcí zábrany v kombinaci s podchody apod.). V České republice (ČR) existuje databáze těchto rizikových úseků spravovaná AOPK ČR. Není však kompletní a také chybí znalosti o potenciálních kritických místech v souvislosti s rozvojem dopravy.

Mezi hlavní cíle práce proto patří:

- 1) zkompletovat databázi rizikových úseků,
- 2) určit kritické úseky, kde v současné době dochází k největším ztrátám obojživelníků,
- 3) pomocí geografických informačních systémů (GIS) predikovat další potenciálně rizikové úseky.

Metodika

- 1) Literární rešerše, založená na studiu literatury, věnovaná monitoringu mortality obojživelníků na silnicích a metodám predikce rizikových míst.
- 2) Sběr dat – kompletace rizikových úseků z různých zdrojů (základ databáze AOPK, doplněná zejména o úseky, kde probíhají záchranné transfery obojživelníků přes komunikace nevládními organizacemi).
- 3) Vyhodnocení dat – pomocí GIS stanovení kritických úseků, predikce rizikových.

Doporučený rozsah práce

cca 30 až 40 stran textu, přílohy dle potřeby

Klíčová slova

ochrana obojživelníků, predikční modely, faktory prostředí, transfery obojživelníků, doprava, silniční síť, GIS

Doporučené zdroje informací

- Austin M. P., 2002: Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157: 101 – 118.
- Beebee T. J. C., 2013: Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27: 657–668.
- Dettmers R. & Bart J., 1999: A GIS modelling method applied to predicting forest songbird habitat. *Ecological Applications*, 9: 152–163.
- Ferrier S. & Guisan A., 2006: Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43: 393–404.
- Franklin J. & Miller J. A., 2009: *Mapping Species Distributions. Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press, England.
- Hels T. & Buchwald E., 2001: The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, 99: 331–340.
- Losif R., Rozyłowicz L. & Popescu V. D., 2013: Modelling road mortality hotspots of Eastern Hermann's tortoise in Romania. *Amphibia-Reptilia*, 34: 163–172.
- Ray N., Lehmann A. & Joly P., 2002: Modelling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation*, 11: 2143–2165.
- Trombulak S. C. & Frissell Ch. A., 2000: Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14: 18–30.

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 4. 2015

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 4. 2015

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan

V Praze dne 21. 04. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré zdroje, prameny a literatura, které jsem v práci použil, jsou řádně citovány s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Tachově dne 20. 4. 2015

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Vojarovi, Ph.D., který mi byl ochoten poskytnout cenné rady a připomínky. Dále děkuji Mgr. A. Krásovi, Ing. D. Sejrkové a Ing. M. Jílkové za poskytnutá data a cenné informace. Nakonec také děkuji své rodině, za trpělivost a podporu během celého studia.

Abstrakt

Mortalita obojživelníků na silnicích je přímým důsledkem rozvoje dopravní infrastruktury. Základem pro uplatňování ochranných opatření je evidence tahových cest obojživelníků, resp. míst, kde na svém tahu překonávají komunikace. Do nedávné doby takováto evidence chyběla. Evidence je důležitá hlavně při úpravách a modernizacích silnic, kdy se dají navrhnout daná opatření.

Řešením může být predikce takových úseků na základě současných znalostí o nich. Existuje mnoho metod, kterými by taková predikce mohla být realizována. V této práci bylo k tomu účelu využito GIS. Na základě metody nákladových vzdáleností byly predikovány rizikové úseky v místech konfliktu migračních tras obojživelníků a dopravních staveb. Ze všech vstupních rizikových úseků byly na základě analýzy okolních faktorů predikovány kritické úseky, tedy úseky s největší potenciální mortalitou.

Klíčová slova: ochrana obojživelníků, predikční modely, faktory prostředí, transfery obojživelníků, doprava, silniční síť, GIS

Abstract

Amphibian road mortality is a direct consequence of the development in traffic infrastructure. The basis for application of protective measures is evidence migration routes, resp. locations where its strength to overcome the roads. Such evidence was absent until recently. Evidence of dangerous road sections is important for modernizations of roads, which can suggest the action.

The solution may be prediction this road section based on current knowledge. There are many methods for realization of such predictions. In this study I used the GIS. On the based of cost distance method were predicted dangerous sections in locations of conflict amphibian migration routes and roads. From all the inputs dangerous road section were based on analysis of environmental factors predicted the most dangerous road sections, sections with greatest potential of mortality.

Keywords: protection of amphibians, prediction models, environmental factors, transfers of amphibians, traffic, road system, GIS

Obsah

1. Úvod	8
1.1 Cíle práce.....	10
2. Literární rešerše	11
2.1 Mapování mortality obojživelníků na silnicích.....	11
2.2 Metody pro popis rozšíření a predikce organismů	11
2.2.1 Geografické informační systémy (GIS)	13
3. Metodika práce	17
3.1 Sběr a zpracování vstupních dat	17
3.1.1 Použité vrstvy.....	18
3.1.2 Sumarizace dat rizikových úseků.....	19
3.2 Analýza vlivu okolních faktorů na přítomnost kritických úseků	20
3.3 Predikce rizikových úseků.....	21
3.3.1 Úprava jednotlivých faktorů pro predikci	21
3.3.2 Predikce tahových cest.....	23
3.3.3 Predikce rizikových míst.....	23
3.4 Predikce kritických úseků na základě okolních faktorů	23
3.4.1 Příprava faktorů.....	24
3.4.2 Multikriteriální analýza	25
4. Výsledky	26
4.1 Sumarizace dat rizikových úseků	26
4.2 Analýza vlivu okolních faktorů na přítomnost kritických úseků	26
4.3 Predikce rizikových úseků.....	27
4.4 Predikce kritických úseků	28
5. Diskuse	29

5.1	Metody využití k predikci rizikových úseků	29
5.2	Vstupní data a jejich zpracování	29
5.3	Limity provedených analýz	30
5.4	Využitelnost metod v ochraně přírody	31
6.	Závěry	32
7.	Použitá literatura	34
7.1	Literární zdroje	34
7.2	Internetové zdroje	37
Přílohy	39

1. Úvod

Obojživelníci patří mezi nejvíce ohrožené skupiny obratlovců. Primárním faktorem odpovědným za pokles jejich početnosti je degradace a fragmentace životního prostředí (Collins & Storfer 2003) včetně rozvoje dopravní infrastruktury (Carr & Fahrig 2001). Fragmentované populace jsou ve zvýšené míře ohroženy zánikem, zejména v důsledku ztrát genetické variability, náhodných demografických výkyvů, změn vnějšího prostředí a kombinací těchto faktorů (Primack et al. 2001).

Jednou z významných příčin ohrožení obojživelníků je jejich mortalita způsobená dopravou na komunikacích (Trombulak & Frissell 2000). Tato mortalita je přímým důsledkem rozvoje dopravní infrastruktury (Carr & Fahrig 2001), která fragmentuje krajinu, biotopy i populace (Anděl et al. 2005). Komunikace rozdělují původní populace organismů na menší (Forman & Alexander 1998), které jsou v případě izolace považovány za méně stabilní a více náchylné k zániku (Forman et al. 2000). Kromě toho vysoce frekventované komunikace protínají tahové cesty obojživelníků a značná část migrujících jedinců se tak při překonávání této překážky stává obětí automobilů (Mikátová & Vlašín 2004). Obecně dochází k největším ztrátám organismů na nechráněných úsecích dálnic či rychlostních komunikacích s vysokou intenzitou dopravy, které se zároveň nacházejí v atraktivním prostředí s množstvím živočichů a přetínají jejich migrační trasy (Hlaváč & Anděl 2001). Negativní vliv dopravy byl prokázán i v okolí komunikací, kde snižuje např. druhovou diverzitu či úspěšnost reprodukce (Forman et al. 2000).

Obojživelníci jsou k mortalitě způsobené dopravou náchylnější než ostatní živočichové, vzhledem k jejich migraci mezi různými typy biotopů (Semlitsch 1998, Hels & Buchwald 2001). Pokud jsou tyto biotopy rozděleny silnicí, je jejich překonání pro obojživelníky velmi obtížné (Mikátová & Vlašín 2002). Jarní tahy dospělců ze zimoviště na místo rozmnožování často probíhají masově a jsou omezeny na poměrně krátké období. Dále k mortalitě přispívá jejich malá rychlost pohybu, při které je třeba poměrně dlouhý čas nutný k překonání vozovky (Mikátová & Vlašín 2004).

Putující obojživelníky je možné chránit různými způsoby, jejichž volba závisí na druhovém složení a početnosti migrujících obojživelníků, intenzitě dopravy, charakteru komunikace, odborných, technických i finančních možnostech realizátora

či investora (Hels & Buchwald 2001, Mikátová & Vlašín 2002, Vojar 2007). Mnohé z nich jsou dobře proveditelné i v amatérských podmínkách, např. transfery obojživelníků na silnicích jejich prostým sběrem či pomocí dočasných bariér a padacích pastí. Pod odborným vedením zde mohou účinně pomáhat nejružnější zájemci o přírodu, zejména dobrovolní ochránci přírody z nevládních organizací, převážně základních organizací Českého svazu ochránců přírody (ČSOP) (Mikátová & Vlašín 2002). Mezi metody ochrany obojživelníků na komunikacích patří dopravní značení, uzávěra silnice a objížďka, pořízení náhradního místa rozmnožování, odchyt a přenos zvířat přímo z komunikace, záchytné bariéry v kombinaci s padacími pastmi, naváděcí zařízení v kombinaci s podchody/propustky atd. (Mikátová & Vlašín 2004). Nejčastějším ochranným opatřením v ČR bývají transfery, tj. odchyty a záchranné přenosy (Sejrková 2009).

Základem pro uplatňování všech výše uvedených ochranných opatření je evidence tahových cest obojživelníků, resp. míst, kde na svém tahu překonávají komunikace (Mikátová & Vlašín 2002, 2004). Do nedávné doby takováto souhrnná evidence kritických silničních úseků pro obojživelníky chyběla. V minulých letech byly shromážděny údaje o 273 úsecích silnic, na nichž jsou obojživelníci každoročně v různém množství (jednotlivci až tisíce) usmrcováni (Mikátová & Vlašín 2004). Tyto úseky se staly základem databáze rizikových úseků AOPK, která je každým rokem dle možností aktualizována. Kromě toho jsou na stránkách ČSOP veřejnosti nahlašovány další rizikové úseky v rámci „Akce Žába“ (ČSOP 2015). Rovněž tyto úseky se postupně začleňují do databáze AOPK.

Evidence kritických úseků na stávajících silnicích je důležitá hlavně při jejich úpravách a modernizacích, kdy se opatření v podobě naváděcích zařízení a podchodů/propustků dají snáze realizovat (Vojar os. sdělení). V rámci hodnocení fragmentace na úrovni územně plánovacích dokumentací je jedním z hlavních úkolů zajištění celkové průchodnosti hlavních migračních cest živočichů, které je nutné znát při plánování nových komunikací (Anděl et al. 2005). V praxi je ale situace často odlišná. Základní koridor trasy je určen v rámci přípravy zásad územního rozvoje bez jakékoli vazby na fragmentaci a teprve ve stupni EIA (Posuzování vlivů záměrů na životní prostředí) jsou hledána opatření jak bariérový efekt zmírnit (Anděl et al. 2005).

Určitým řešením může být predikce takových úseků na základě současných znalostí o těchto kritických úsecích včetně jejich následné verifikace. K predikci výskytu (druhů či třeba právě rizikových úseků, princip je podobný) existuje mnoho metod. Patří k nim lineární (LM) či zobecněné lineární modely (GLM), zobecněné aditivní modely (GAM), regresní a klasifikační stromy, dále metoda neuronových sítí (NNs), analýza maximální entropie (MaxEnt) nebo statistické nástroje v rámci geografických informačních systémů (GIS) (Hudousek 2013). Takový přístup např. použili autoři Ray et al. (2002) ve své práci, kde predikovali migrační trasy obojživelníků s využitím statistik v prostředí GIS.

V ČR nebyla doposud podobná studie provedena. Ve své diplomové práci se proto zabývám predikcí rizikových úseků především s využitím GIS na základě současné znalosti míst, kde dochází k protnutí migračních tras dopravními stavbami. Ze všech vstupních rizikových úseků byly na základě analýzy okolních faktorů predikovány kritické úseky, tedy úseky s největší potenciální mortalitou. Tato práce probíhá ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK ČR). Výsledky práce budou AOPK ČR předány a následně použity pro ochranu obojživelníků.

1.1 Cíle práce

Cílem této práce je sumarizace dat rizikových úseků. Z databáze budou vybrány kritické úseky (rizikové úseky s největší potenciální mortalitou) a pomocí nich bude provedena analýza vlivu okolních faktorů. Na základě analýzy budou zjištěny vlastnosti prostředí v okolí kritických úseků.

Následně budou s využitím GIS predikovány rizikové úseky. Tyto úseky vzniknou v místě konfliktu predikovaných migračních tras s dopravními stavbami.

Nakonec v rámci predikovaných rizikových úseků budou na základě zjištěných informací z analýzy vlivů okolních faktorů predikovány kritické úseky.

2. Literární rešerše

V rámci této kapitoly jsem se zabýval mapováním mortality obojživelníků na silnicích a dalšími metodami pro popis rozšíření a predikce organismů, které nebyly podrobněji popsány v předchozí bakalářské práci (Hudousek 2013). Blíže je zde podrobnější popis geografických informačních systémů (GIS) (včetně softwaru ArcGis), které v bakalářské práci popsány nebyly, ale využil jsem je pro účely této diplomové práce.

2.1 Mapování mortality obojživelníků na silnicích

Životní cyklus obojživelníků zahrnuje tahy mezi terestrickými a vodními biotopy, a tak dochází k migraci dnes velmi fragmentovanou krajinou (Decout et al. 2010). Značná část migrujících obojživelníků se tak při překonávání překážek v podobě dopravní infrastruktury stává obětí automobilů. Úmrtnost na silnicích je všeobecně známá, ale jen málokdy pro populace obojživelníků kvantifikovaná hrozba (Beebee 2013). Za nejvíce rizikový je považován jarní tah, který často probíhá masově a v krátkém časovém období. Vesměs se jedná o úseky na silnicích nižších tříd, kde mohou být usmrceny desítky až stovky jedinců, zejména pokud vedou v blízkosti vodních ploch, kde se obojživelníci rozmnožují (Mikátová & Vlašín 2004).

Odhady počtů přejetých obojživelníků bývají navíc podceňovány. Počítání usmrcených jedinců je zatíženo chybou, neboť mrtvolky jsou velice rychle odstraňovány predátory a maskovány pojezdy dalších automobilů (Hels & Buchwald 2001). Problematické je také sledování při zpětném tahu mladých metamorfovaných jedinců, kteří často unikají pozornosti (Mikátová & Vlašín 2004).

2.2 Metody pro popis rozšíření a predikce organismů

Metody založené na prostorové distribuci se dají využít obdobně k identifikaci rizikových úseků (Ansel et al. 2015).

Biogeografické modely druhové distribuce jsou základním nástrojem při posuzování dopadů měnících se environmentálních faktorů prostředí na přírodní společenstva a ekosystémy (Guisan et al. 2006). Důležité při používání statistických modelů je

uvědomění si toho, že jde „jen o modely“. Náš svět obsahuje sice spoustu zákonitostí, ale také spoustu náhodností, a nemůžeme očekávat, že předpovědi, založené na těchto modelech, budou dokonalé (Šmilauer 2007).

Při výběru vhodné statistické metody závisí na tom, zda modelujeme každou vysvětlovanou proměnnou (např. přítomnost jedince) zvlášť a zda máme při tvorbě modelu k dispozici vysvětlující proměnné (např. podmínky pro výskyt druhu). Druhovká data, která lze často určovat kvantitativním způsobem, jsou tedy vysvětlovanými proměnnými, zatímco prediktory poskytující informaci, kterou můžeme použít k předpovědi hodnot vysvětlovaných proměnných, nazýváme vysvětlujícími proměnnými (Lepš & Šmilauer 2000). V poslední době neustále přibývá dostupných informací v oblasti environmentálních dat, stejně jako počet studií uplatňující modely na základě nik. Díky tomu tato data a jejich výpočetní kapacity umožňují rozsáhlá hodnocení vztahů mezi distribucí vysvětlovaných a vysvětlujícími proměnných (Kozak 2008).

Jedním z důvodů modelování rozšíření organismů je pochopení vztahů mezi druhem a vlastnostmi životního prostředí (abiotické a biotické), které nám umožňují testování ekologických či biogeografických hypotéz o výskytu (Franklin & Miller 2009). Většina vznikajících modelovacích algoritmů je založena na datech o přítomnosti druhu v prostoru, méně pak na absenci a časovém aspektu (Gu & Swihart 2004, Ferrier & Guisan 2006). Prostorové distribuční modely byly použity např. ke studiu vztahů mezi environmentálními faktory a druhovou bohatostí (MacNally & Fleishman 2004), nebo u studia charakteristik a prostorových vlastností stanovišť, které jsou pro dané druhy v krajině žádoucí (Araújo & Williams 2000).

K modelování druhové distribuce lze využít různé statistické metody (Segurado & Araújo 2004). V druhovém distribučním modelování jsou často využívány zobecněné lineární modely (GLM) a zobecněné aditivní modely (GAM). K jejich kladům patří silný statistický základ a schopnost realistického modelování ekologických vztahů (Austin 2002). Dalšími metodami jsou např. analýzy ekologických nik, regresní analýzy, nebo metody založené na studiu maximální entropie. Faktorová analýza ekologických nik (ENFA) je založena na výpočtu faktorů vysvětlujících hlavní část druhové environmentální distribuce (Hirzel 2001). Regresní analýzy se snaží najít souvislost mezi jednotlivými prostorovými jevy (Tuček 1998). Metodou vyvinutou v rámci softwaru je MaxEnt. MaxEnt odhaduje

druhovou distribuci na základě dat o přítomnosti druhu s cílem najít rozdělení pravděpodobnosti maximální entropie (Phillips et al. 2006, Elith et al. 2011). Entropie je veličinou, která charakterizuje uspořádanost systému. Definuje ji druhý termodynamický zákon, který určuje směr termodynamických procesů v přírodě, které vždy probíhají od více uspořádaných stavů ke stavům s menším uspořádáním (Navrátil 2011).

Jedním z dalších použitelných nástrojů jsou Geografické informační systémy (GIS) (Tuček 1998). GIS v oblasti distribučního modelování nabízejí rozsáhlé možnosti posuzování environmentálních faktorů (Kozak 2008). Největší využití v GIS mají klasické statistické metody (sumy, mediány, maxima a další jednorozměrné metody), ale také regresní analýzy, metodiky prostorové predikce atd. (Tuček 1998).

2.2.1 Geografické informační systémy (GIS)

Pojem geografické informační systémy (GIS) je používán pro označení počítačových systémů orientovaných na zpracování geografických dat, prezentovaných především v podobě různých map (Smutný 2007). Na rozdíl od klasických map, mohou pracovat s překryvem map různých faktorů (ESRI 2015). Podle ArcData Praha (2015a) je GIS organizovaný soubor počítačového hardwaru, softwaru a geografických údajů (naplněné báze dat). GIS jsou navrženy pro efektivní získávání, ukládání, upravování, obhospodařování, analyzování a zobrazování všech forem geografických informací a kombinací dat (ESRI 2015). GIS mají své uživatele typicky mimo rámec zájmu běžných aplikací informačních technologií, pro příklad obrana, státní správa a samospráva, ochrana životního prostředí a správa krajiny, zemědělství, správa inženýrských sítí, geologie, školství atd. (Tuček 2006).

Vstupními informacemi jsou většinou prostorová data. Pro geografická data, jako jeden z druhů prostorových dat, je známá geografická poloha místa na zemském povrchu nebo v jeho blízkém okolí, ke kterému se data vztahují. Geografická poloha je daná např. zeměpisnými souřadnicemi (Smutný 2007). Absolutní prostor představují rastrové mapy a relativní prostor vektorové mapy. Rastrová mapa je velikostně absolutně zadaná (souřadnicemi okrajů) a dělí prostor „rastrizací“ na malé plošky. Vedle toho vektorová mapová vrstva je množinou objektů s určitým tvarem a rozměrem (Tuček 2006). Pokud data neobsahují žádný (buť i nepřímý) údaj o

lokalizaci a lokalizace nevyplývá ani z kontextu, pak takováto data jsou vždy neprostorová (Rapant 2002). Údaj, který zajišťuje vazbu dat na konkrétní místo v prostoru, se nazývá georeference. V ideálním případě jsou touto georeferencí přímo souřadnice na mapě, ale většinou se jedná o údaj, který zprostředkovává prostorovou lokalizaci nepřímo, jako je například adresa, číslo parcely, název státu, okresu města, městské části apod. (Smutný 2007).

Základní entitou popisovanou daty je geoprvek (angl. feature), označován jako základní prostorová entita, která je dále nedělitelná na jednotky stejného typu a která je popisovaná prostorovými daty. Z geoprvku je složeno prostředí, v němž se člověk pohybuje (Rapant 2002). U geoprvku je důležitý jeho popis pro správnou reprezentaci a zpracování (poloha v prostoru a jeho geometrické vlastnosti, negeometrické vlastnosti – atributy, trvání v čase, vztahy k okolním geoprvkům) (Smutný 2007).

Software GIS

K neznámějším dodavatelům software pro GIS patří kalifornská společnost ESRI. Vlajkovou lodí společnosti je produkt ArcGIS. (Smutný 2012). Softwarový produkt ArcGIS se v GIS komunitě považuje za nejpokročilejší GIS nástroj na světě (Tuček 2006).

ArcGIS Desktop poskytuje kompletní software pro GIS a je k dispozici ve třech úrovních: ArcView, ArcEditor a ArcInfo, které se liší různou úrovní funkcionality (Smutný 2012). Dále jsou produkty těchto úrovní tvořeny aplikacemi ArcMap a ArcCatalog (ArcData Praha 2015b). V aplikaci ArcMap je možno data zobrazovat, dotazovat se na ně, provádět nejrůznější analýzy, vytvářet výkresy a tisknout výsledné mapy. Poskytuje tedy dva různé pohledy na mapu, tj. zobrazení geografických dat a zobrazení výkresu mapy. ArcCatalog nabízí nástroje pro správu, tvorbu a organizaci geografických dat a tvorbu sofistikovaných geodatabází pro jejich ukládání (ESRI 2015). Pro správu a analýzu prostorových je v obou aplikacích bohatý soubor nástrojů umístěných v uživatelském rozhraní ArcToolbox (ArcData Praha 2015b).

Možnosti systému lze rozšířit přidáním specializovaných rozšiřujících modulů - nadstaveb, které se prezentují novými panely funkcí a nástrojů. Např. ArcGIS 3D

Analyst, které přináší do GIS třetí rozměr. 2D vrstvy získají prostorový tvar na základě modelu reliéfu, navíc je možné jednotlivé 2D prvky „vytáhnout“ nad či pod úroveň terénu podle údajů v atributové tabulce. Dalším rozšířením je např. nadstavba Spatial Analyst, která umožňuje vytvářet data v rastrovém formátu a analyzovat souvislosti mezi různými typy geografických dat – v rastrovém i vektorovém formátu. Spatial Analyst otevírá cestu k využití těch dat, která popisují spojitě se měnící veličiny, jako např. nadmořská výška, sklon, teplota, tlak srážky, znečištění apod., a umožní vytvořit rastrovou vrstvu prostřednictvím interpolace hodnot naměřených v diskrétních bodech zkoumaného území (Smutný 2012).

ArcGIS for Desktop lze snadno přizpůsobit potřebám jakékoli organizace nebo pracoviště. Pro méně složité úpravy je k dispozici grafické programovací prostředí ModelBuilder, pro náročnější postupy lze využít integrovaný programovací jazyk Python. Jeho prostřednictvím lze přistupovat k různým funkcím ArcGIS, a zahrnout je tak do komplexních vědeckých výpočtů nebo automatizovat správu dat (ArcData Praha 2015b).

Využití GIS pro predikce organismů

Mapování a predikce organismů je v posledních letech důležitou součástí plánování ochrany a péče o ekosystémy (Ozkan et al. 2015). V GIS existují možnosti jak takové modelování v prostoru usnadnit (Klimánek 2009 ex Janovská 2010). GIS je tvořen pro tvorbu, editaci, správu, analýzu a vizualizaci geografických informací (ArcData Praha 2015c). Proto byl využit v mnoha prostorových analýzách v oblasti životního prostředí (Rapant 2002).

Pro prostorové modelování predikce množství a rozmístění druhu ho využili Dettmers & Bart (1999). Nejprve identifikovali optimální rozmezí hodnot pro každou environmentální proměnnou, která sloužila v modelu jako prediktor. Následně byl vytvořen vícerozměrný model vhodnosti stanoviště kombinací rozsahů hodnot, pomocí logických operátorů („and“, „or“). Podobný přístup využili Ozkan et al. (2015) ve své studii, ve které porovnávali různé techniky v modelování druhové distribuce. Zde GIS představoval metodu pro vizuální znázornění a posouzení potenciální distribuce.

Potenciál GIS v ochraně obojživelníků využili např. Ray et al. (2002), kteří modelovali prostorové rozložení populací obojživelníků na základě přístupu prostupnosti stanovišť v GIS. Využili k tomu podkladové mapy „land use“, ze které vytvořili mapu frikčního povrchu. Tj. mapu, jejíž jednotlivé rastrové buňky jsou tvořeny náklady na energii, která je potřebná k jejímu přechodu. Potenciální migrační zóny byly modelovány na základě této frikční mapy spolu s uvážením maximálních migračních vzdálenosti jednotlivých druhů obojživelníků. Vzhledem k tomu, že se zabývají podobnou tematikou, byly použité frikční hodnoty přiřazené krajinnému pokryvu, převzaty pro tuto diplomovou práci právě ze studie Ray et al. (2002).

3. Metodika práce

V metodice je popsán průběh sběru a zpracování vstupních dat. Dále je zde uveden detailní popis predikce tahových cest a následně rizikových úseků na silnicích. Ze všech vstupních rizikových úseků byly na základě analýzy vlivu okolních faktorů predikovány kritické úseky, tedy úseky s největší potenciální mortalitou.

3.1 Sběr a zpracování vstupních dat

Data rizikových úseků byla pro tuto práci převzata z databáze AOPK ČR. Od tohoto subjektu také pocházejí data nálezů jednotlivých druhů obojživelníků ve formě záznamů v souboru MS Excel a ve formátu pro ArcGis (.shp). Kromě databáze AOPK byla použita data z diplomových prací Sejrkové (2009) a Jílkové (2010), které vytvořily seznam rizikových úseků, na kterých probíhal transfer obojživelníků základními organizacemi ČSOP.

Podkladová data průměrných nočních teplot byla poskytnuta od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) na základě písemných smluv.

Další zdroje mapových podkladů:

- databáze ArcČR 500 (<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500>),
- geoportál CENIA (<http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>),
- přístupová WMS databáze Agentury ochrany přírody a krajiny (AOPK ČR Praha) (<https://gis.nature.cz/arcgis/services>),
- přístupová WMS databáze Ředitelství silnic a dálnic (ŘSD ČR) (http://geoportal.jsdi.cz/arcgis/services/geoportal_rsd_wms2/MapServer/WMServer),
- volně přístupná databáze celosvětových klimatických údajů WorldClim (<http://www.worldclim.org/current>).

3.1.1 Použité vrstvy

Vrstvy následujících faktorů (vlastností prostředí) sloužily jako vstupní data provedených analýz. Většina z nich před analýzou podléhala úpravě. Následující rozpis vrstev udává jejich popis a konkrétní využití v analýzách.

Nálezy

Vektorová vrstva nálezů `nalezky_bodove.shp` (zdroj AOPK ČR) (viz Příloha 1a) představuje výskyt všech obojživelníků na území ČR s popisnými informacemi o konkrétním druhu obojživelníka. Tato vrstva byla použita jako primární podklad pro predikce rizikových úseků na silnicích a jako vstupní faktor v analýze okolních faktorů.

Mokřady

Polygonová vrstva `mokradni_vrstva.shp` (zdroj AOPK ČR) (viz Příloha 1b) obsahuje biotopy, které jsou cílem při migraci obojživelníků. Proto byla v analýze použita jako jeden ze vstupních faktorů.

Krajinný pokryv

Krajinný pokryv reprezentovala vrstva `clc_00.shp` (zdroj ArcCR_500), která byla použita na tvorbu frikční mapy. Jednotlivé této rastrové vrstvy jsou tvořeny náklady na energii, která je potřebná k jejímu přechodu přes jednotlivé krajinné pokryvy (Ray et al. 2002). Krajinný pokryv je také jedním ze vstupních faktorů v další analýze.

Silnice

Silnice (zdroj ArcCR_500) představují bariéru, jejíž překonání je pro obojživelníky velmi obtížné (Mikátová & Vlašín 2002) a následně zde dochází k mortalitě (Carr & Fahrig 2001).

Rizikové úseky

Vrstva `kolizni_mista.shp` (zdroj AOPK ČR) byla doplněna o data z transferů (Sejrková 2009, Jílková 2010) a následně využita pro vlastní analýzu okolních faktorů jako vrstva `rizikove_useky.shp` (Příloha 2a).

Průměrné noční teploty

Teplota při tahu je jedním z faktorů, který má vliv na rychlost a úspěšné překonání nebezpečí, které silnice pro obojživelníky představuje (Mikátová & Vlašín 2004).

V analýze byly použity průměrné noční teploty za posledních pět let v době tahu (duben, květen) (zdroj ČHMÚ).

Průměrné srážky

Srážky, podobně jako teploty, ovlivňují průběh tahu. Pro účely této práce byly použity průměrné srážky za posledních 50 let v příslušných měsících, kdy probíhá tah obojživelníků (duben, květen) (zdroj WorldClim).

Kritické úseky

Vrstva `krit_useky.shp` reprezentovala vybrané rizikové úseky s předpokladem potenciálně nejvyšší mortality (Příloha 2b).

3.1.2 Sumarizace dat rizikových úseků

Do tabulky v programu MS Excel byly přepsány lokality transferů z let 2000–2009. Tato data byla porovnána se stávající databází AOPK ČR a převedena na souřadnicový systém S-JTSK pomocí služby „Převod zeměpisných souřadnic ze systému WGS-84 do S-JTSK“ (<http://www.pecina.cz/krovak>).

Pro další práci s daty o místech, na kterých jsou obojživelníci pravidelně přejížděni, byl použit software ArcGIS 10.2.2 (<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>). Po založení nového souboru programu ArcMap byla v pomocném nástroji ArcCatalog vytvořena Geodatabáze, do které je možné načíst excelová data se souřadnicemi a dále s nimi v programu pracovat.

Z tabulky byl vytvořen soubor typu `.shp` využitím volby `Create feature class from XY table`. Vytvořená data byla porovnána s vrstvou `koliz_mista.shp` databáze AOPK ČR a jejich následnou sumarizací byla funkcí Merge (Data Management Tools - General) vytvořena výsledná vrstva udávající aktualizovanou databázi rizikových míst. Tyto úseky (viz Příloha 2a) byly podrobeny několika analýzám v prostředí ArcGIS pro predikci důležitých faktorů okolního prostředí.

3.2 Analýza vlivu okolních faktorů na přítomnost kritických úseků

Kritické úseky

Kritické úseky vycházely z aktualizované databáze rizikových úseků. Jedná se o 25 vybraných úseků s největší mortalitou obojživelníků, vrstva `krit_useky.shp` (Příloha 2b).

Pro analýzu dalších faktorů byla vytvořena polygonová vrstva `krit_500.shp`, představující blízké okolí těchto úseků. Za blízké okolí byla zvolena vzdálenost 500m okolo každého bodu. Toho bylo docíleno pomocí funkce `Buffer` (`Analysis Tools - Proximity`) (`Distance = 500`).

Krajinný pokryv

Při analýze faktoru krajinného pokryvu (`Land cover`) byl vytvořen průnik vrstev `clc_00.shp` a `krit_500.shp` prostřednictvím funkce `Intersect` (`Analysis Tools - Extract`). Zastoupení jednotlivých druhů krajinných pokryvů na těchto lokalitách bylo zjištěno pomocí `Summarize` sloupce `TRIDACORZ` v atributové tabulce vytvořené vrstvy (Příloha 3, Tabulka 1).

Průměrné noční teploty

Dalším faktorem vstupujícím do analýzy byly průměrné noční teploty za posledních pět let v jednotlivých měsících. Analýza byla provedena pro průměrné teploty v měsících, ve kterých probíhá jarní migrace obojživelníků (duben, květen). Ke zjištění příslušných teplot ve vybraných zónách (`krit_us500.shp`), byla použita funkce `Intersect`. `Intersect` vytvořil průnik mezi vrstvami a vznikl požadovaný výstup. V atributové tabulce pro každý měsíc, byla zjištěna četnost jednotlivých teplotních hodnot, (`Summarize, grid code`) (Příloha 3, Tabulka 2, Tabulka 3).

Průměrné srážky

Rastrové podklady srážek byly oříznuty na území ČR (`Extract by mask`) a následné vyčíslení hodnot příslušného faktoru v zónách zájmu (`krit_us500.shp`) provedla funkce `Zonal Statistics As Table` (`Spatial Analyst Tools - Zonal`) (Příloha 3, Tabulka 4, Tabulka 5).

Mokřady

U tohoto faktoru bylo potřeba zjistit, v jaké nejkratší vzdálenosti se mokřady vyskytují od kritických úseků. Nástroj `Near` (`Analysis Tools - Proximity`) dokáže vypočítat vzdálenost od jednoho bodu vstupní vrstvy k druhému nejbližšímu bodu vrstvy druhé (Příloha 3, Tabulka 6). V tomto případě byla vstupní bodová vrstva `krit_useky.shp`. Mokřady do analýzy vstupovaly jako polygonová vrstva, ke které byla vzdálenost měřena.

Nálezy

Vzdálenost k nejbližšímu nálezu od kritických úseků byla zjištěna pomocí funkce `Near` (Příloha 3, Tabulka 7).

Sídla

U bodové vrstvy `sidla_body.shp` byla zjištěna nejkratší vzdálenost jednotlivých kritických úseků k sídlům (`Near`) (Příloha 3, Tabulka 8).

3.3 Predikce rizikových úseků

Vstupními vrstvami pro predikce rizikových úseků byly nálezy jednotlivých druhů obojživelníků, mokřady, krajinný pokryv a silnice.

3.3.1 Úprava jednotlivých faktorů pro predikci

Krajinný pokryv

Vrstva krajinného pokryvu `clc_00.shp` byla převedena na rastr funkcí `Feature to Raster` (`Conversion Tools - To Raster`) (`Cell size = 100`). Ten byl použit k vytvoření frikční mapy (Příloha 4). Jednotlivým krajinným pokryvům byla přiřazena nákladová hodnota pro migraci (Tabulka 1) (Ray et al. 2002). Toho bylo docíleno `Reclassify` (`Spatial Analyst Tools - Reclass`).

Tabulka 1: Nákladové hodnoty jednotlivých krajinných pokryvů. Převzato z Ray et al. (2002).

Krajinný pokryv	Nákladová hodnota
Obytná plocha	1000
Průmyslové a obchodní zóny	1000
Doly, skládky a staveniště	1000
Plochy umělé nezemědělské zeleně	80
Orná půda	80
Stálé kultury	80
Pastviny	45
Různorodé zemědělské plochy	80
Lesy	5
Plochy s křovinnou a travnatou vegetací	25
Otevřené plochy s malým zastoupením vegetace nebo bez vegetace	80
Vnitrozemská humidní území	10
Pevninské vody	1000

Nálezy jednotlivých druhů obojživelníků

Vrstva `nalezky_upravene.shp` byla rozdělena podle toho, na jakou vzdálenost jsou jednotlivé druhy obojživelníků schopny migrovat (Tabulka 2). K roztřídění došlo využitím SQL dotazů v atributové tabulce této bodové vrstvy. Následně byly vytvořeny přechodné vrstvy funkcí `Create layer from selected features` a uloženy (`Data - Export data to_`). Vznikly tak dvě nové vrstvy nálezů a kolem jednotlivých bodů byly vytvořeny zóny migračních vzdáleností funkcí `Buffer` (Tabulka 2). Takto vytvořené zóny kolem nálezů posloužily jako maska pro oříznutí krajinného pokryvu (`Extract by mask`).

Silnice

Z liniové vrstvy `silnice.shp` byly pro analýzu predikce rizikových míst v editačním režimu odstraněny dálnice a rychlostní silnice.

Tabulka 2: Maximální migrační vzdálenost jednotlivých skupin obojživelníků. Převzato z Ray et al. (2002).

Skupina	Max. migrační vzdálenost (m)
<i>Bombina</i>	3000
<i>Bufo</i>	3000
<i>Rana</i>	3000
<i>Pelobates</i>	3000
<i>Hyla</i>	1000
<i>Salamandra</i>	1000
<i>Triturus</i>	1000

3.3.2 Predikce tahových cest

Funkcí Cost Distance (Spatial Analyst Tools - Distance) byly pro každou buňku vypočteny co nejmenší náklady při pohybu přes frikční povrch. Do analýzy tedy vstupovala vrstva frikčního povrchu a nálezů. Výsledkem byly dva rastrové výstupy, pro obojživelníky s kratším a s delším migračním potenciálem. Na základě těchto výstupů byly navazující funkcí Cost Path (Spatial Analyst Tools - Distance) (Path type = EACH_ZONE) vyčísleny nejméně nákladné migrační cesty k mokřadním stanovištím (costp_1000 a costp_3000).

3.3.3 Predikce rizikových míst

K mortalitě obojživelníků dochází na místech, kde silnice protínají jejich tahové cesty (Mikátová & Vlašín 2004). Proto byla riziková místa průnikem těchto dvou faktorů. S využitím nástroje Intersect byl vytvořen průnik mezi vrstvami nejméně nákladných migračních cest a silnic (Příloha 5).

3.4 Predikce kritických úseků na základě okolních faktorů

Predikce kritických úseků byla provedena multikriteriální analýzou na základě faktorů okolního prostředí. Faktorům bylo přiděleno bodové hodnocení, určující váhu jednotlivých kategorií. Bodové hodnocení bylo vytvořené na základě analýzy okolních faktorů (nejvyšší hodnota = 100).

3.4.1 Příprava faktorů

Krajinný pokryv

Vrstva `clc_00.shp` byla převedena na rastr `clc` (`field = TRIDACORZ`), a pomocí `Reclassify` byly ohodnoceny jednotlivé kategorie krajinných pokryvů (Příloha 6, Tabulka 1).

Vzdálenost k nálezům

Faktor nálezů vstupující do analýzy představovala vrstva, která zahrnovala území do 200 m od jednotlivých nálezů. Zóna byla vytvořena z bodové vrstvy `nalezky_upravene.shp` nástrojem `Buffer` (`Distance = 200`). Vznikla tak vrstva `nalezky_200.shp` a v její atributové tabulce byl vytvořen nový sloupec bodového hodnocení (`body`), do kterého byly zadána hodnota 100. Prostřednictvím bodového hodnocení byla vrstva aktualizována funkcí `Update` (`Analysis Tools - Overlay`) o vrstvu `cr_cela.shp`. Polygonová vrstva `cr_cela.shp` již měla bodové hodnocení nadefinováno z předchozích analýz (`body = 0`). Takto upravené nálezy byly převedeny na rastr (`Feature to Raster`) (`Field = body`).

Vzdálenost k mokřadům

Vrstva mokřadů byla upravena podobně jako nálezy. Na základě analýzy okolních faktorů byla vytvořena zóna 300 m kolem každého mokřadu `Buffer` (`Distance = 300`) a následovalo převedení na rastr (`Feature to Raster`) (`Field = FID`).

Vzdálenost k sídlům

Kolem jednotlivých bodů sídel byly vytvořeny zóny do vzdálenosti 3000 m (`Buffer`). Tato vytvořená vrstva `sidla_3000.shp` byla aktualizována u vrstvy `cr_cela.shp` (`Update`) a převedena na rastr (`Feature to Raster`). V bodovém hodnocení vrstvy byla nadefinována hodnota 100.

Průměrné noční teploty

Průměrným nočním teplotám bylo přiděleno bodové hodnocení (Příloha 6, Tabulka 2, Tabulka 3) nástrojem `Reclassify`.

Průměrné měsíční srážky

Faktory průměrných měsíčních srážek (březen, duben, květen) byly reprezentovány vrstvami `srazky4_cr` a `srazky5_cr` a podobně jako průměrným teplotám jim bylo přiděleno nové bodové hodnocení (`Reclassify`) (Příloha 6, Tabulka 4, Tabulka 5).

3.4.2 Multikriteriální analýza

Jednotlivé faktory byly mezi sebou sečteny pomocí nástroje mapové algebry `Raster Calculator` (`Spatial Analyst Tools - Map Algebra`). Kritické úseky představují místa na silnicích, na nichž dochází k nejvyšší mortalitě obojživelníků. V analýze rizikových úseků na silnicích již vznikly vrstvy `rizik_1000.shp` a `rizik_3000.shp`, které zde byly použity jako místa zájmu pro multikriteriální analýzu. Pro specifikaci hodnot na těchto místech bylo využito zonální statistiky (`Zonal Statistics As Table`).

Ze vzniklých databázových tabulek byly vybrány úseky s nejvyššími hodnotami (`VALUE = 780 - 800`). Následovalo ověření intenzity dopravy na těchto úsecích ze sčítání dopravy 2010.

4. Výsledky

V této kapitole je popis výstupů, kterých bylo dosaženo jak v rámci sumarizace dat o výskytu rizikových úseků, tak při jednotlivých analýzách. Výstupy jsou prezentovány formou „Layout“ v přílohách této práce a v následujícím textu je na ně odkazováno.

4.1 Sumarizace dat rizikových úseků

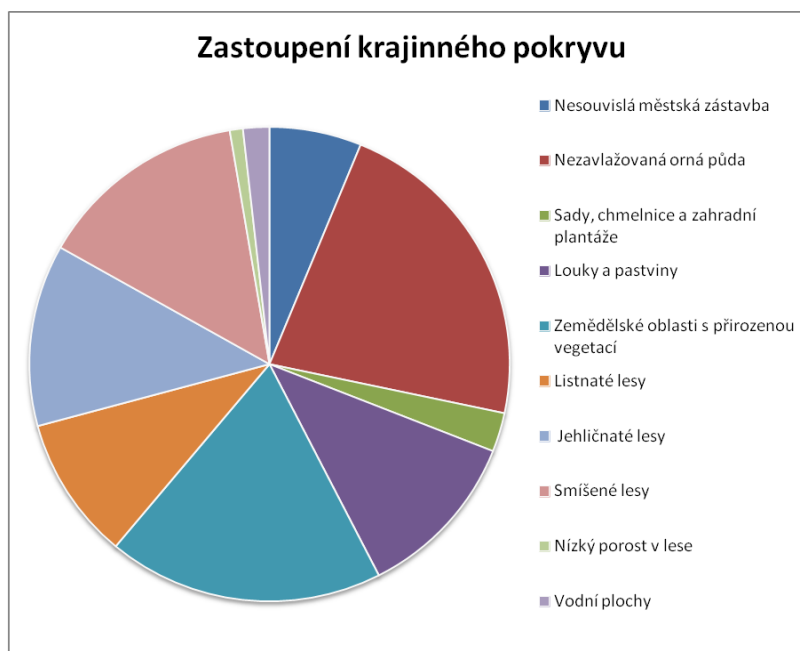
Databáze AOPK byla doplněna o dalších 19 potenciálně rizikových úseků, z databáze ČSOP a ze závěrečných zpráv subjektů provádějící transfery obojživelníků (viz Příloha 2a). Vznikla tak databáze s 547 záznamy o rizikových úsecích.

4.2 Analýza vlivu okolních faktorů na přítomnost kritických úseků

V této analýze byly stanoveny jednotlivé hodnoty výše zmíněných sledovaných faktorů s vlivem na mortalitu obojživelníků, resp. přítomnost kritických úseků. V případě dosažení níže uvedených hodnot a jejich kombinací je předpokládána přítomnost kritického úseku:

- krajinný pokryv: Orná půda, Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, Smíšené a Jehličnaté lesy, Louky a pastviny, Listnaté lesy atd. (viz Obr. 1),
- noční teploty: 7,1–9 °C (duben), 9,1–13 °C (květen),
- srážky: 35–45 mm (duben), 66–75 mm (květen),
- vzdálenost k nejbližšímu mokřadu: 0–300 m,
- vzdálenost k nejbližšímu místu nálezu: 0–200 m,
- vzdálenost k nejbližšímu sídlu: 0–3000 m.

Obř. 1: Poměr zastoupení jednotlivých krajinných pokryvů, zjiřtřený v analýze vlivu okolních faktorů na přítomnost kritických úseků.



Analýza byla provedena v okolí 25 kritických úseků, které byly vybrány (Přiloha 3, Tabulka 1–10). Výběř úseků probíhal na základě následujících hodnot úseků:

- více než 100 přejížděných jedinců na úsecích bez opatření,
- tisíce přenášených jedinců v místech, na kterých probíhá transfer obojživelníků.

4.3 Predikce rizikových úseků

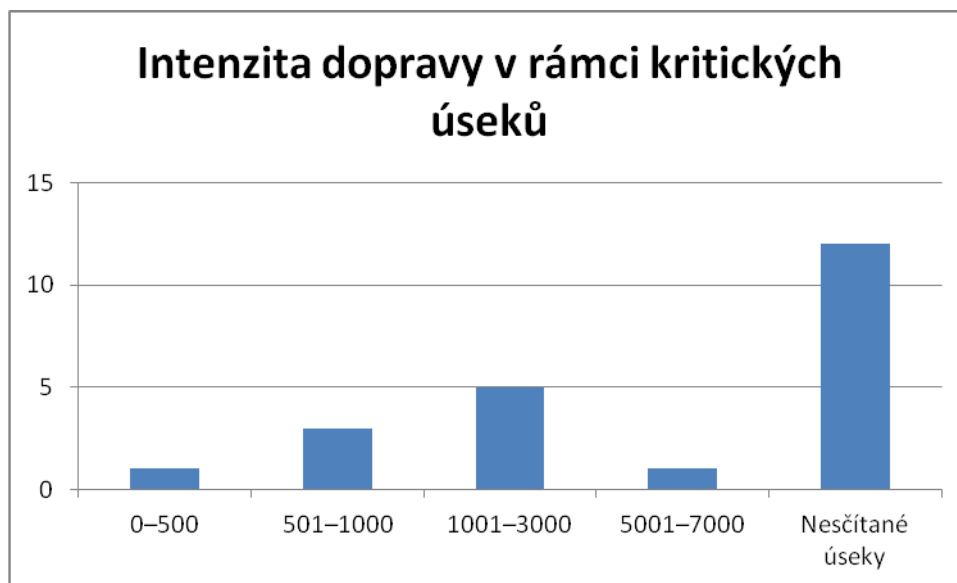
Migrační trasy obojživelníků byly predikovány prostřednictvím nákladových vzdáleností od místa nálezů s využitím nástrojů v GIS. V úsecích, kde došlo k protnutí trasy obojživelníků s dopravní stavbou, byla tato místa označena jako riziková (Přiloha 5). Predikce byla provedena pro dvě skupiny obojživelníků, které byly rozčleněny podle maximální migrační vzdálenosti (Tabulka 2). Pro obojživelníky s kratší migrační vzdáleností (1000 m), bylo predikováno 323 rizikových míst na silnicích. U skupiny obojživelníků s delší migrační vzdáleností (3000 m) to bylo 1091 rizikových úseků.

4.4 Predikce kritických úseků

Kritické úseky představovaly rizikové úseky s potenciálně největší mortalitou obojživelníků. Jejich predikce byla provedena multikriteriální analýzou, na základě vrstev okolních faktorů s bodovým hodnocením (Příloha 6). Bodovým hodnocením byla jednotlivým faktorům (a jejich kategoriím) přiřazena váha důležitosti, se kterou vstupovaly do multikriteriální analýzy. Ve výsledném rastru (Příloha 7) bylo zvoleno rozmezí nejvyšších hodnot určující kritické úseky (780–800). Dohromady tedy bylo predikováno 22 kritických úseků (Příloha 8, Příloha 9).

V rámci predikovaných kritických úseků se jedná výhradně o místa vyskytující se na silnicích druhé (6 úseků) nebo třetí třídy (16 úseků). Z hlediska intenzity dopravy se jedná o úseky s nižší intenzitou dopravy (Obr. 2, Příloha 9). Faktem však je, že více jak polovina těchto úseků vůbec nepodléhala „Sčítání dopravy 2010“ (ŘSD ČR 2015).

Obr. 2: Zastoupení intenzit dopravy v rámci predikovaných 22 kritických úseků.



Legenda: osa X – intenzita dopravy, osa Y – četnost kritických úseků.

5. Diskuse

Prostorové distribuční modely dokážou predikovat výskyt druhů na základě dat přítomnosti/absenci druhu. Díky rozvoji v prostorovém modelování je v nynější době značné množství záznamů o výskytu druhů i environmentálních proměnných. Různé metody mají své slabé a silné stránky. V této kapitole je diskutován přístup, který byl použit v této práci k predikci rizikových úseků (výhody/nevýhody). Dále jsou zde diskutována vstupní data a jejich zpracování. V neposlední řadě jsou diskutovány možnosti využití výsledků této práce.

5.1 Metody využité k predikci rizikových úseků

Bohužel jen málo studií o distribuci živočichů bylo založeno na modelování prostupnosti biotopů a následné predikci rizikových úseků prostřednictvím multikriteriální analýzy. Tato metoda byla použita např. v pracích Ray et al. (2002) nebo Joly et al. (2003), kde k modelování využili potenciálu migračních zón (na základě frikčního povrchu) a maximálních migračních vzdáleností obojživelníků. Podobným přístupem byla provedena predikce rizikových i kritických úseků v této diplomové práci. Evidence rizikových úseků na silnicích pro obojživelníky je základem ochrany obojživelníků při jejich tazích přes komunikace. Tyto úseky byly predikovány v místech konfliktu migračních tras s dopravními stavbami. GIS se ukázaly jako užitečná metoda pro předpověď migračních zón v okolí míst nálezů obojživelníků a mokřadů. Podle předpokladů Joly et al. (2003) by oblasti migračních zón měly být nejlepším prediktorem pro populace těchto živočichů. Prostupnost a propojenost biotopů (konektivita krajiny) je důležitým aspektem při migracích všech živočichů. Proto je v analýze použita vrstva frikčního povrchu. Při zjišťování migračních tras je hodnota odporu povrchu faktorem, který ovlivňuje na jakou vzdálenost je živočich schopen migrovat.

5.2 Vstupní data a jejich zpracování

K predikci rizikových úseků byla použita již zmíněná vrstva krajinného pokryvu, která byla bodově ohodnocena. Jelikož hodnoty odporu každého stanoviště představují tvrdé jádro modelu, je potřeba jejich odhadu věnovat zvýšenou pozornost

(Joly et al. 2003). V této diplomové práci byly pro tvorbu použity hodnoty ze studie Ray et al. (2002), která se vztahovala k území států Ženeva. Hodnoty mohly být použity vzhledem ke geografickému umístění tohoto území a byly doplněné o některé chybějící druhy stanovišť.

Tato práce se věnovala především predikci kritických úseků. Jsou jimi myšleny úseky, na kterých je předpokládána největší mortalita obojživelníků (bez ohledu na to, zda na nich probíhají transfery). V této analýze byly vrstvy taktéž modifikovány bodovým hodnocením. Kritériem hodnocení byly výsledky analýzy okolních faktorů.

Faktory počasí (průměrné noční teploty, srážky) na daném místě, které do určité míry ovlivňují přítomnost kritických úseků, byly zvoleny v období jarní migrace. Jelikož, jak vyplývá z výsledků práce Sejrkové (2009) zabývající se transfery obojživelníků, je způsob ochrany zaměřený na jarní migraci nejrozšířenější. Faktem je, že při jarním tahu dospělců dochází k nejmasovějším migracím (Mikátová & Vlašín 2004).

5.3 Limity provedených analýz

Limitujícím faktorem analýz mohou být vstupní proměnné. Predikce byla provedena na poměrně velkém území (celá ČR). Jednotlivé rastrové výstupy byly vytvořeny s rozlišením nejméně 100×100 m, z důvodu velkého množství dat se kterými software ArcGis pracoval. Při predikci úseků mnohdy jen v několika desítkách metrů tato škála není ideálním rozlišením. Pro přesnější predikci by byla vhodná menší oblast zájmu, kde by analýzy tvořily rastrové výstupy s rozlišením max. 10×10 m.

Dalším limitem těchto predikcí může být nedostatečná dostupnost a neznalost důležitých faktorů, na kterých je mortalita obojživelníků na silnicích závislá. Zásadní vliv mají parametry komunikace (šíře vozovky, intenzita dopravy atd.), pravděpodobnost využívání konkrétních migračních tras a vlastnosti jednotlivých druhů ve způsobu překonávání komunikace a chování se na ní (Hels & Buchwald 2001, Hlaváč & Anděl 2001, Mikátová & Vlašín 2004).

Jak již bylo řečeno, pro přesnější predikci kritických a rizikových úseků by bylo třeba menší oblasti zájmu. Proto se při porovnání vybraných a predikovaných kritických úseků nemusí vždy jednat o totožná místa konfliktů.

5.4 Využitelnost metod v ochraně přírody

Využití modelovacích technik ve spojení s GIS může být velkým přínosem v managementu krajiny pro zachování biodiverzity (Joly et al. 2003). V případě neustálého zlepšování znalostí o vhodnosti stanovišť pro jednotlivé druhy živočichů mají GIS v ochraně přírody velký potenciál (Ray et al. 2002). Bodové hodnocení jednotlivých faktorů může být sice z části subjektivně posouzeno. Ovšem se zvyšujícími znalostmi a zkušenostmi o jejich míře vlivu na rizikové úseky, budou predikce do budoucna stále přesnější.

6. Závěry

- Mortalita obojživelníků na silnicích je poměrně známý fenomén, především díky záchranným transferům v jarním období. Populace obojživelníků mohou být dopravou významně negativně ovlivněny. Nejúčinnějšími ochrannými opatřeními jsou na rizikových úsecích trvalé naváděcí bariéry a propustky vhodných parametrů. Základem jakékoliv ochrany obojživelníků migrujících přes silnice je ovšem znalost úseků, kde k těmto tahům dochází.
- Hlavním cílem této diplomové práce proto byla, za použití nástrojů GIS, predikce rizikových úseků na silnicích pro obojživelníky, tedy úseků, kde jsou obojživelníci ohrožováni dopravou při svém pohybu krajinou (zejména na místa rozmnožování a zpět).
- V první fázi byla provedena sumarizace rizikových úseků. Základem byla databáze těchto úseků vedená AOPK ČR, doplněná o další data (např. záznamy z transferů obojživelníků přes komunikace). Vznikla tak aktualizovaná databáze s celkem 547 záznamy rizikových úseků.
- Z nich bylo následně vybráno 25 kritických úseků, tedy úseky s nejvyššími počty usmrcených jedinců (většinou šlo o stovky jedinců). V rámci těchto kritických úseků byla pomocí nástrojů GIS provedena analýza vlivu faktorů prostředí. Z této analýzy vyplynulo, že častým krajinným pokryvem vyskytujícím se v bezprostřední blízkosti kritických úseků jsou zemědělské plochy a lesy (lesy smíšené, jehličnaté, listnaté). Vzdálenost k nejbližšímu mokřadu se ve většině úseků pohybovala v hodnotách do 300 m a k nejbližšímu místu nálezů obojživelníků to bylo do 200 m. Sídla byla od kritických úseků ve vzdálenosti do 3000 m. Zjištěné noční teploty v oblasti kritických úseků se pohybovaly v rozmezí 7,1–9 °C (duben) a 9,1–13 °C (květen) a průměrný úhrn srážek byl v rozmezí 35–45 mm (duben) a 66–75 mm (květen).
- Co se týče vlastní predikce rizikových úseků, tyto byly predikovány v místech, kde dochází ke křížení migračních tras obojživelníků s dopravními stavbami. Predikce byla provedena na základě metody nákladových vzdáleností, jejímž výstupem byly migrační zóny obojživelníků. V této metodě byla vstupní vrstvou mapa frikčního povrchu, která udává odpor

jednotlivých biotopů při jejich zdolávání. Místo průniku migrační trasy s dopravní stavbou bylo identifikováno jako rizikový úsek. Tímto způsobem bylo zaznamenáno 1091 rizikových úseků (Příloha 5).

- Podobně byla provedena i predikce kritických úseků (rizikové úseky s potenciálně nejvyšší mortalitou). Predikováno bylo 22 kritických úseků, které byly situovány převážně na silnicích nižších tříd s nižší intenzitou dopravy (Příloha 8).
- Použité metody v rámci GIS jsou velmi využívanými a neustále inovovanými analytickými nástroji. Zvyšující se dostupnost environmentálních dat na lokální a regionální úrovni by měla do budoucna umožnit vzniku více studií s vyšší přesností predikcí v této oblasti. Výsledky této práce mohou být, po jejich následné verifikaci, použity jako poklad při návrzích konkrétních ochranných opatření na nejrizikovějších úsecích.

7. Použitá literatura

7.1 Literární zdroje

Anděl P., Gorčicová I., Hlaváč V., Miko L. & Andělová H., 2005: Hodnocení fragmentace krajiny dopravou. Metodická příručka. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.

Araújo M. B. & Williams P. H., 2000: Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation*, 96: 331–345.

Austin M. P., 2002: Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157: 101–118.

Beebee T. J. C., 2013: Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27: 657–668.

Carr L. W. & Fahrig L., 2001: Effect of road traffic on two amphibian species differing vagility. *Conservation Biology*, 15: 1071–1078.

Collins J. P. & Storfer A., 2003: Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions*, 9: 89–98.

Decout S., Manel S., Miaud C. & Luque S., 2010: Connectivity and landscape patterns in human dominated landscape: a case study with the common frog *Rana temporaria*. *Landmod*, 1: 1–13.

Dettmers R. & Bart J., 1999: A GIS modelling method applied to predicting forest songbird habitat. *Ecological Applications*, 9: 152–163.

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.

Ferrier S. & Guisan A., 2006: Spatial modelling of biodiversity at the community level. *Journal of Applied Ecology*, 43: 393–404.

Forman R. T. T. & Alexander L. E., 1998: Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29: 207–231.

Forman R. T. T. & Deblinger R. D., 2000: The Ecological road-effect zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. *Conservation Biology*, 14: 36–46.

Franklin J. & Miller J. A., 2009: Mapping Species Distributions. Spatial Inference and Prediction. Cambridge University Press, England.

Gu W. & Swihart R. K., 2004: Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. *Biological Conservation*, 116: 195–203.

Guisan A., Lehmann A., Ferrier S, Austin M., Overton J. MC. C., Aspinall R. & Hastie T., 2006: Making better biogeographical predictions of species distributions. *Journal of Applied Ecology*, 43: 386–392.

Hels T. & Buchwald E., 2001: The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, 99: 331–340.

Hirzel A., 2001: When GIS come to life. Linking landscape and population ecology for large population management modelling: the case of Ibex (*Capra ibex*) in Switzerland. PhD Thesis. University of Lausanne, Lausanne.

Hlaváč V. & Anděl P., 2001: Metodická příručka k zajišťování průchodnosti dálničních komunikací pro volně žijící živočichy. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.

Hudousek P., 2013: Metody využívané k modelování prostorové a časové distribuce obojživelníků. Bakalářská práce (nepublikováno). Katedra ekologie, Fakulta životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

Jílková M., 2010: Využití dat ze záchranných transferů obojživelníků přes komunikace. Diplomová práce (nepublikováno). Katedra ekologie, Fakulta životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

Joly P., Morand C. & Cohas A., 2003: Habitat fragmentation and amphibian conservation: building a tool for assessing landscape matrix connectivity. *Comptes Rendus Biologies*, 326: 132–139.

Kozak K. H., Graham C. H. & Wiens J. J., 2008: Integrating GIS-based environmental data into evolutionary biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 23: 141–148.

Langen T. A., Ogden K. M. & Swarting L. L., 2009: Predicting hot spot of herpetofauna road mortality along highway network. *The Journal of Wildlife Management*, 73: 104–114.

- Lepš J. & Šmilauer P., 2000:** Mnohorozměrná analýza ekologických dat. Biologická fakulta JU, České Budějovice.
- Losif R., Rozyłowicz L. & Popescu V. D., 2013:** Modelling road mortality hotspots of Eastern Hermann's tortoise in Romania. *Amphibia-Reptilia*, 34: 163–172.
- Mac Nally R. & Fleishman E., 2004:** A successful predictive model of species richness based on indicator species. *Conservation Biology*, 18: 646–654.
- Mikátová B. & Vlašín M., 2002:** Ochrana obojživelníků. Metodická příručka. Český svaz ochránců přírody, Brno.
- Mikátová B. & Vlašín M., 2004:** Obojživelníci a doprava. ZO ČSOP Veronica, Brno.
- Navrátil V., 2011:** Stárnutí, entropie a lidské zdraví. *Škola a zdraví*, 21: 331–336.
- Ozkan K., Senturk O., Mert A. & Negiz M. G., 2015:** Modelling and mapping potential distribution of Crimean juniper (*Juniperus excelsa* Bieb.) using correlative approaches. *Journal of Environmental Biology*, 36: 9–15.
- Philips S. J., Anderson R. P. & Schapire R. E., 2006:** Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231–259.
- Primack R. B., Kindlmann P. & Jersáková J., 2001:** Biologické principy ochrany přírody. Portál, Praha.
- Rapant P., 2002:** Úvod do geografických informačních systémů. Skripta PGS. Institut ekonomiky a systémů řízení oddělení GIS Hornicko-geologické fakulty Vysoké školy báňské – Technické univerzity, Ostrava.
- Ray N., Lehmann A. & Joly P., 2002:** Modelling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation*, 11: 2143–2165.
- Segurado P. & Araújo M. B., 2004:** An evaluation of methods for modelling species distributions. *Journal of Biogeography*, 31: 1555–1568.
- Sejrková D., 2009:** Transfery obojživelníků přes komunikace – zhodnocení situace v České republice. Diplomová práce (nepublikováno). Katedra ekologie, Fakulta životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze.

Semlitsch R. D., 1998: Biological delineation of terrestrial buffer zones for pond-breeding salamanders. *Conservation Biology*, 12: 1113–1119.

Smutný J., 2007: Geografické informační systémy. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. Fakulta stavební Vysoké technické učení, Brno.

Šmilauer P., 2007: Moderní regresní metody. Biologická fakulta JU, České Budějovice.

Trombulak S. C. & Frissell Ch. A., 2000: Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14: 18–30.

Tuček J., 1998: Geografické informační systémy: Principy a praxe. Computer Press, Brno.

Vojar J., 2007: Ochrana obojživelníků: ohrožení, biologické principy, metody studia, legislativní a praktická ochrana. Doplněk k metodice č. 1 Českého svazu ochránců přírody. ZO ČSOP Hasina Louny.

7.2 Internetové zdroje

ArcData Praha, 2015a: Co je GIS? ARCDATA PRAHA, s.r.o. - geografické informační systémy, Praha. Online: <http://www.arcdata.cz/oborova-reseni/co-je-gis/>, cit. 1. 4. 2015.

ArcData Praha, 2015b: ArcGIS for Desktop. ARCDATA PRAHA, s.r.o. - geografické informační systémy, Praha. Online: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/arcgis-for-desktop/>, cit. 1. 4. 2015.

ArcData Praha, 2015c: Novinky v ArcGIS 10.3. ARCDATA PRAHA, s.r.o. - geografické informační systémy, Praha. Online: <http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/software/arcgis/novinky-v-arcgis-10.3/>, cit. 1. 4. 2015.

ČSOP, 2015: Seznam evidovaných kritických úseku. Akce Žába. Český svaz ochránců přírody, Praha. Online: http://www.csop.cz/index.php?cis_menu=1&m1_id=1002&m2_id=1026&m_id_ol=1160, cit. 1. 4. 2015.

ESRI, 2015: What is GIS? Environmental Systems Research Institute, United States.

Online: <http://www.esri.com/what-is-gis/index.html>, cit. 1. 4. 2015.

Klimánek M., 2009: Multikriteriální analýza, mapová algebra a modelování. Geografické informační systémy – přednášky. Ústav geoinformačních technologií.

Mendelova univerzita, Brno. Online:

http://mapserver.mendelu.cz/sites/default/files/data/skripta/prednasky/5_gis09.pdf,

cit 1. 4. 2015.

ŘSD ČR, 2015: Sčítání dopravy 2010. Ředitelství silnic a dálnic ČR, Praha. Online:

<http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>, cit. 1. 4. 2015.

Přílohy

Seznam příloh:

Příloha 1a: Nálezy všech druhů obojživelníků v ČR.

Příloha 1b: Mokřadní biotopy v ČR.

Příloha 2a: Rizikové úseky na silnicích pro obojživelníky v ČR (úseky z databáze AOPK a transferů).

Příloha 2b: Vybrané kritické úseky na silnicích pro obojživelníky v ČR (úseky z databáze AOPK a transferů).

Příloha 3: Četnosti faktorů v blízkém okolí kritických úseků zjištěné analýzou vlivu okolních faktorů.

Příloha 4: Mapa frikčního povrchu použitá v analýze nákladových vzdáleností.

Příloha 5: Predikované rizikové úseky pro obojživelníky ČR.

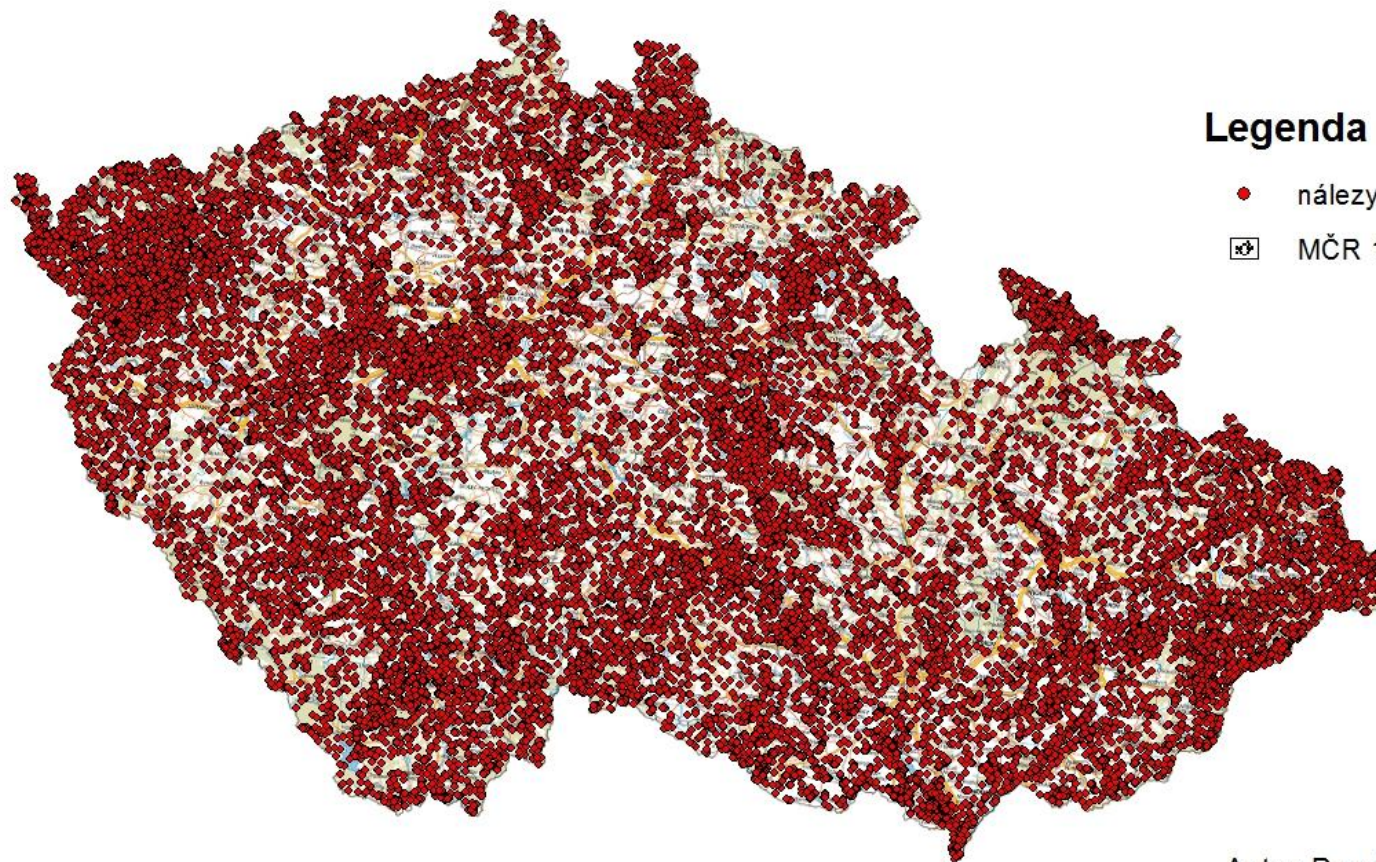
Příloha 6: Bodová ohodnocení jednotlivých faktorů, na základě analýzy vlivů okolních faktorů, použité v multikriteriální analýze.

Příloha 7: Výsledný rastr multikriteriální analýzy znázorňující součet bodově ohodnocených faktorů.

Příloha 8: Predikované kritické úseky na silnicích pro obojživelníky v ČR.

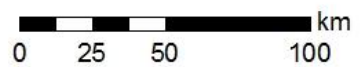
Příloha 9: Charakteristika predikovaných kritických úseků na silnicích pro obojživelníky v ČR.

Příloha 1a: Nálezy všech druhů obojživelníků v ČR.



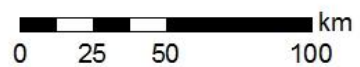
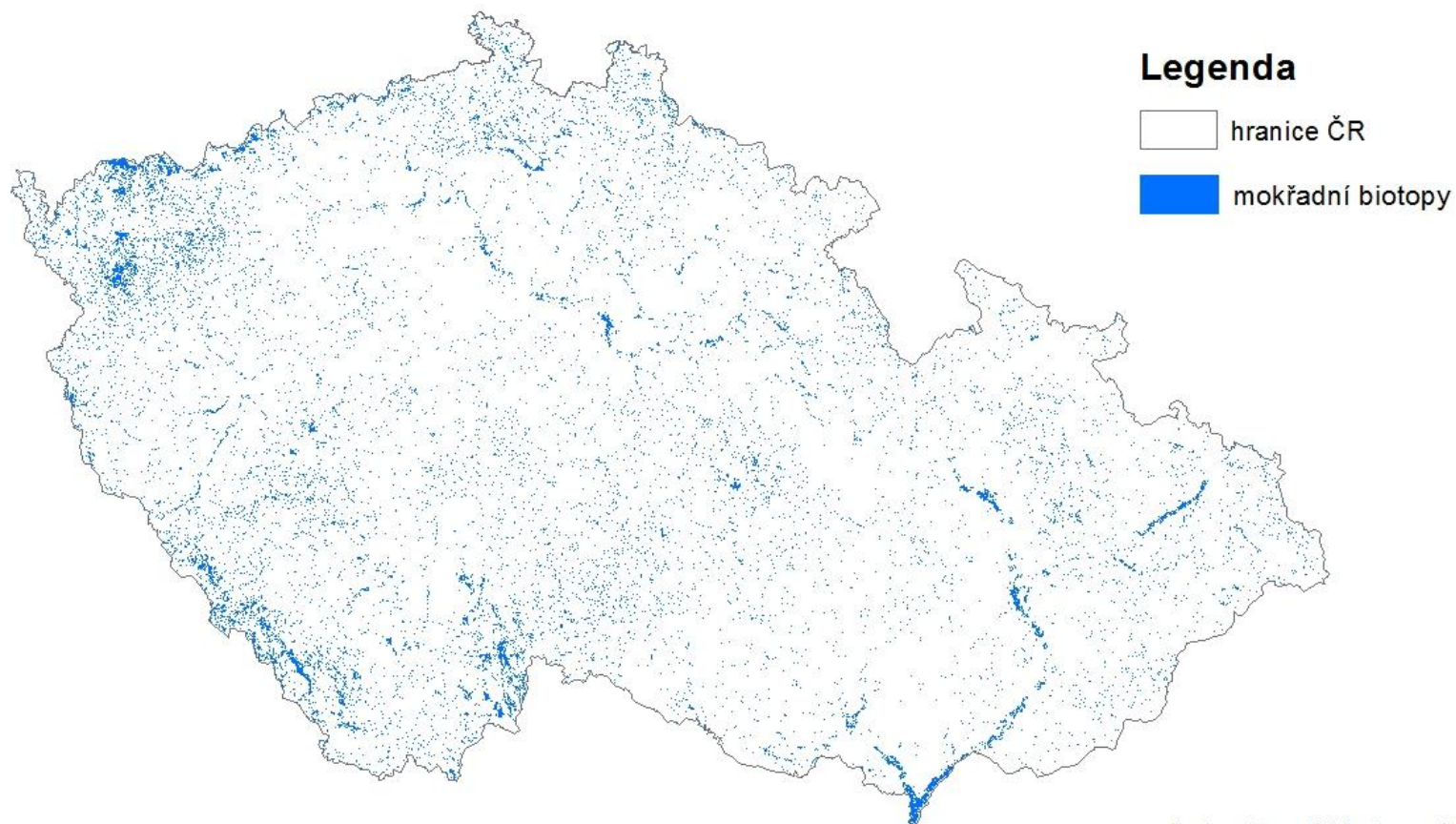
Legenda

- nálezy
- ☒ MČR 1:1 000 000



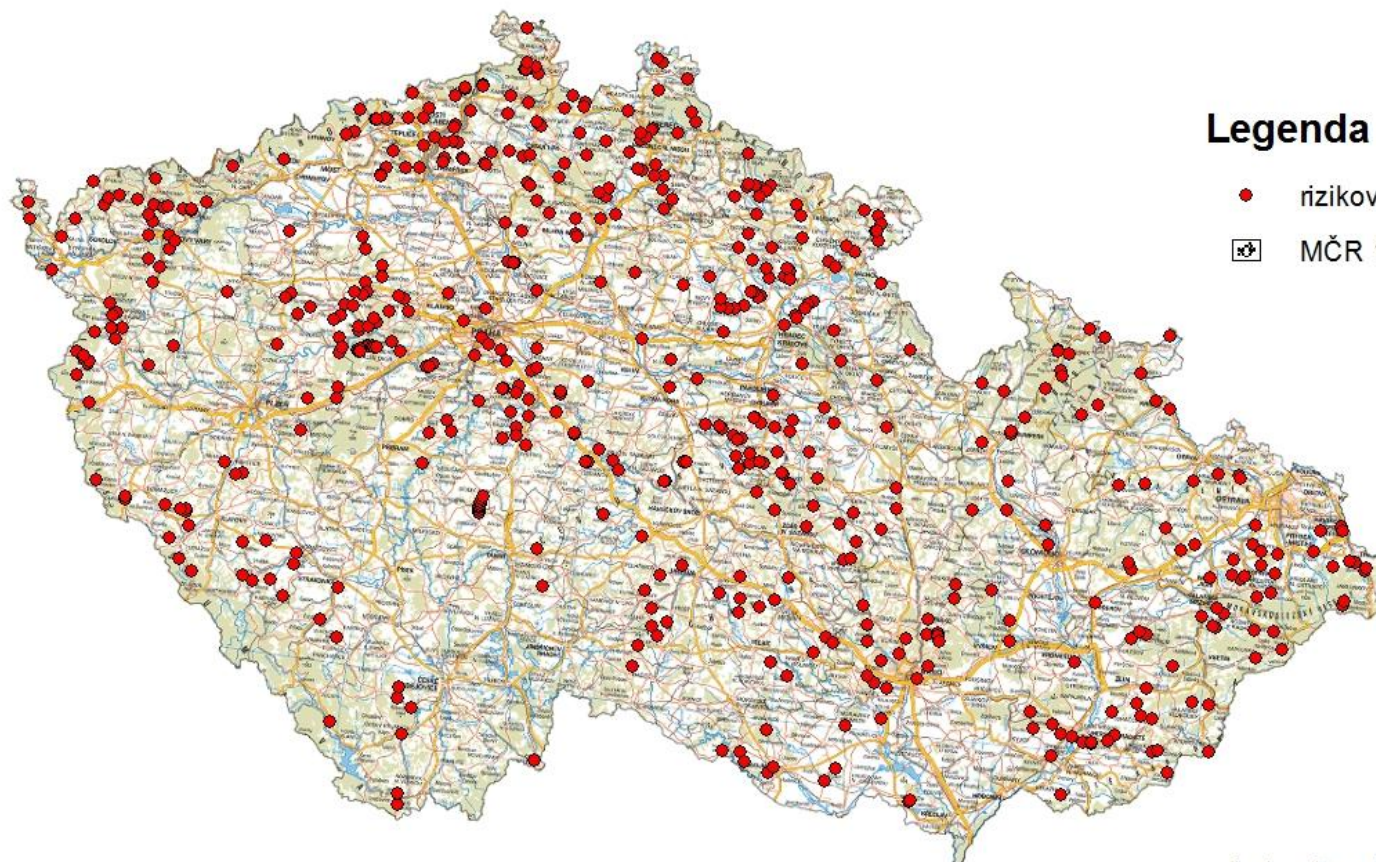
Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

Příloha 1b: Mokřadní biotopy v ČR.



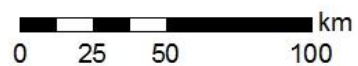
Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

**Příloha 2a: Rizikové úseky na silnicích pro obojživelníky v ČR
(úseky z databáze AOPK a transferů).**



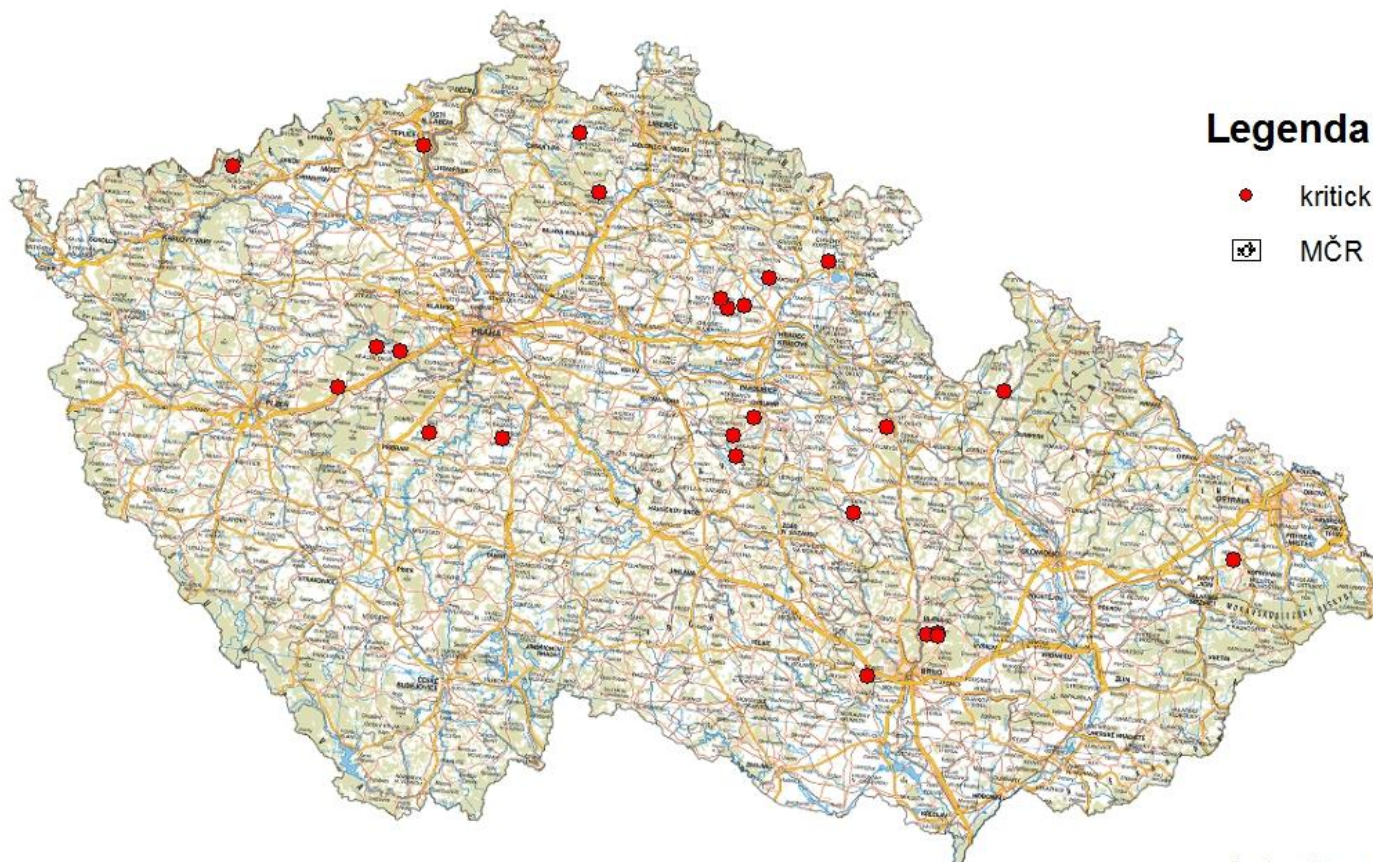
Legenda

- rizikové úseky
- ☒ MČR 1:1 000 000



Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

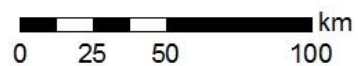
**Příloha 2b: Vybrané kritické úseky na silnicích pro obojživelníky v ČR
(úseky z databáze AOPK a transferů).**



Legenda

● kritické úseky

☒ MČR 1:1 000 000



Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

Příloha 3: Četnosti faktorů v blízkém okolí kritických úseků zjištěné analýzou vlivu okolních faktorů.

Tabulka 1: Četnosti zastoupení jednotlivých krajinných pokryvů v okolí vybraných kritických úseků (z databáze AOPK a transferů).

Typ krajinného pokryvu	Četnost
Nesouvislá městská zástavba	7
Nezavlažovaná orná půda	25
Sady, chmelnice a zahradní plantáže	3
Louky a pastviny	13
Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	21
Listnaté lesy	11
Jehličnaté lesy	14
Smíšené lesy	16
Nízký porost v lese	1
Vodní plochy	2

Tabulka 2: Četnosti rozmezí nočních teplot v okolí kritických úseků za období 2010–2015 (duben).

Rozmezí teplot (°C)	Četnost
5,1–6	1
6,1–7	2
7,1–8	14
8,1–9	11

Tabulka 3: Četnosti rozmezí nočních teplot v okolí kritických úseků za období 2010–2015 (květen).

Rozmezí teplot (°C)	Četnost
8,1–9	1
9,1–10	1
10,1–11	3
11,1–12	14
12,1–13	9

Tabulka 4: Četnosti rozmezí úhrnu srážek v okolí kritických úseků za období 1950–2000 (duben).

Úhrn srážek (mm)	Četnost
35–40	12
41–45	9
46–50	4
51 a více	2

Tabulka 5: Četnosti rozmezí úhrnu srážek v okolí kritických úseků za období 1950–2000 (květen).

Úhrn srážek (mm)	Četnost
60–65	4
66–70	10
71–75	9
76 a více	2

Tabulka 6: Četnosti rozmezí vzdáleností od kritických úseků k nejbližším mokřadům.

Vzdálenost k mokřadu (m)	Četnost
0–10	7
11–50	5
51–100	4
101–300	4
301 a více	5

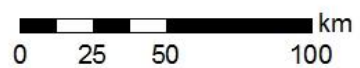
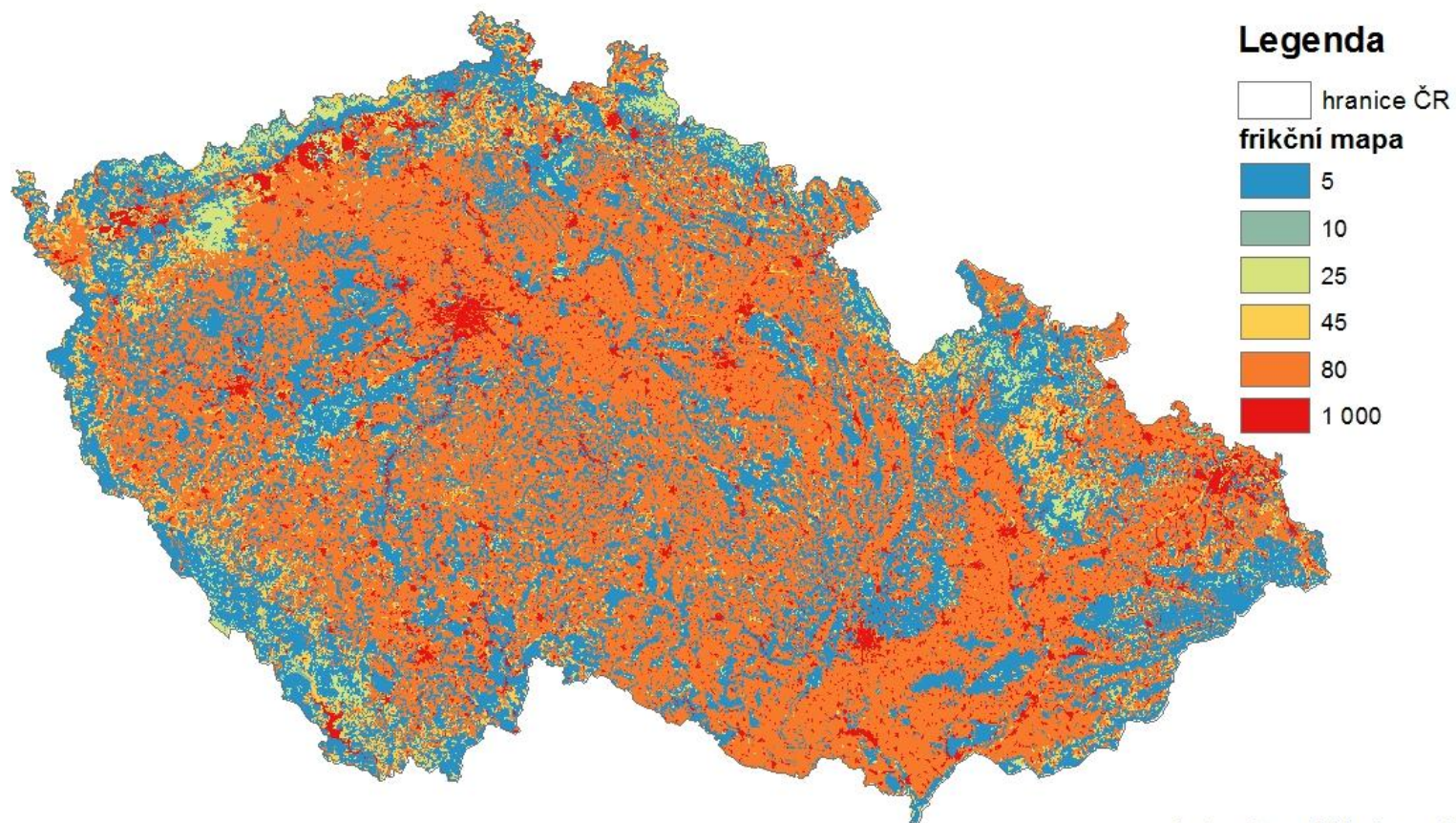
Tabulka 7: Četnosti rozmezí vzdáleností od kritických úseků k nejbližším místům nálezů obojživelníků.

Vzdálenost k nálezu (m)	Četnost
0–50	6
51–100	7
101–200	3
201–300	1
301–400	3
401–500	3
500 a více	2

Tabulka 8: Četnosti rozmezí vzdáleností od kritických úseků k nejbližším sídlům.

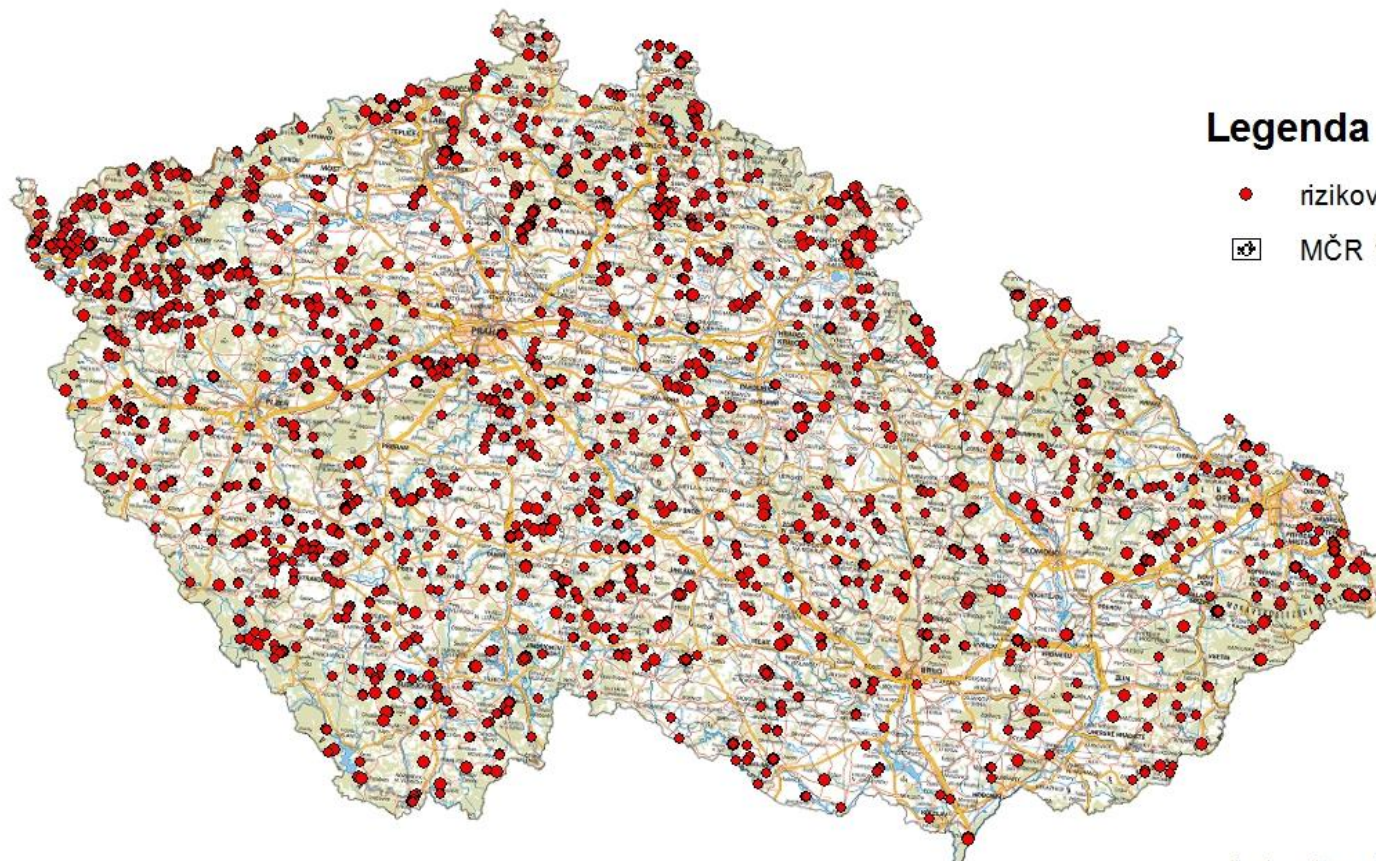
Vzdálenost k sídlu (m)	Četnost
0–1000	3
1001–2000	9
2001–3000	8
3001–4000	2
4001 a více	3

Příloha 4: Mapa frikčního povrchu použitá v analýze nákladových vzdáleností.



Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

Příloha 5: Predikované rizikové úseky na silnicích pro obožživeIníky v ČR.



Legenda

- rizikové úseky
- ☒ MČR 1:1 000 000

0 25 50 100 km

Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

Příloha 6: Bodová ohodnocení jednotlivých faktorů na základě analýzy vlivů okolních faktorů použité v multikriteriální analýze.

Tabulka 1: Bodové ohodnocení jednotlivých krajinných pokryvů.

Typ krajinného pokryvu	Bodové hodnocení
Nesouvislá městská zástavba	20
Nezavlažovaná orná půda	100
Sady, chmelnice a zahradní plantáže	20
Louky a pastviny	60
Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací	80
Listnaté lesy	40
Jehličnaté lesy	60
Smíšené lesy	60
Nízký porost v lese	4
Vodní plochy	4

Tabulka 2: Bodové ohodnocení nočních teplot (duben).

Rozmezí teplot (°C)	Bodové hodnocení
1,1–2	0
2,1–3	0
3,1–4	0
4,1–5	0
5,1–6	5
6,1–7	10
7,1–8	100
8,1–9	80
9,1–10	0

Tabulka 3: Bodové ohodnocení nočních teplot (květen).

Rozmezí teplot (°C)	Bodové hodnocení
5,1–7	0
7,1–8	0
8,1–9	5
9,1–10	5
10,1–11	20
11,1–12	100
12,1–13	70
13,1–14	0

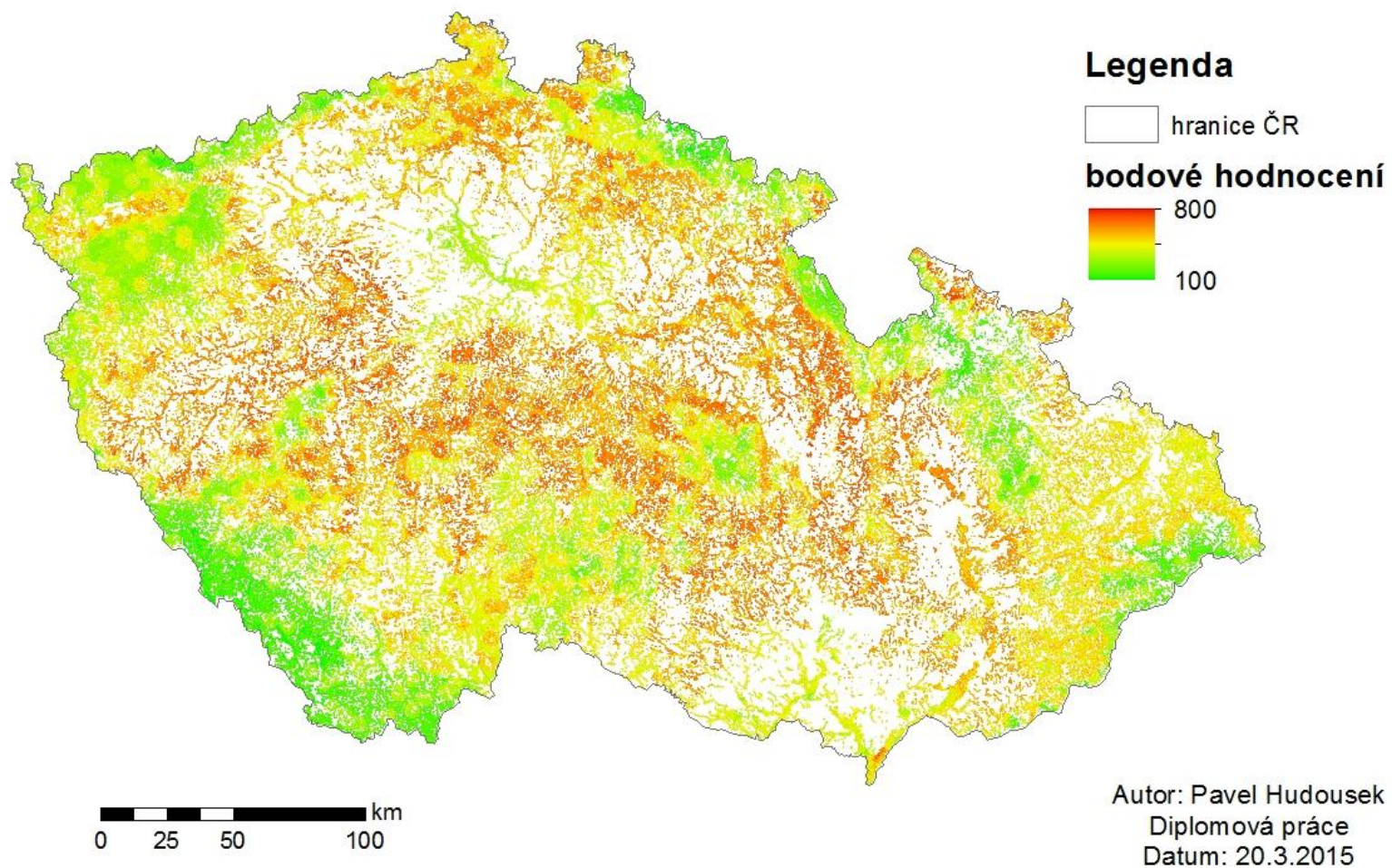
Tabulka 4: Bodové ohodnocení srážkového úhrnu (duben).

Úhrn srážek (mm)	Bodové hodnocení
31–34	0
35–40	100
41–45	80
46–50	30
51–60	20
61–70	0
71–80	0
81–84	0

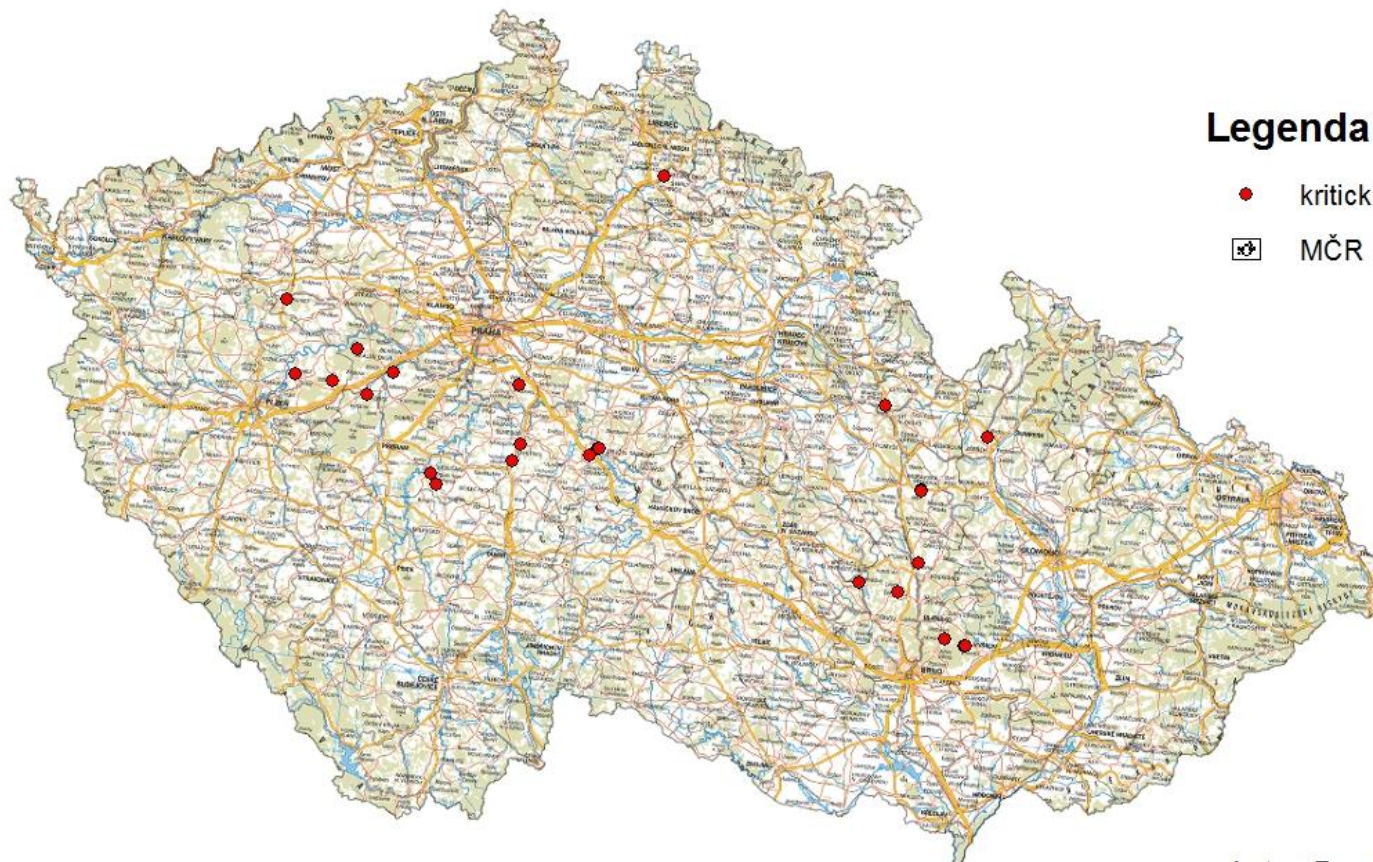
Tabulka 5: Bodové ohodnocení srážkového úhrnu (květen).

Úhrn srážek (mm)	Bodové hodnocení
54–59	0
60–65	50
66–70	100
71–75	90
76–80	20
81–110	0

Příloha 7: Mapa frikčního povrchu (odporu prostředí) použitá k analýze nákladových vzdáleností.



Příloha 8: Predikované kritické úseky na silnicích pro obojživelníky v ČR.



Legenda

● kritické úseky

☒ MČR 1:1 000 000

0 25 50 100 km

Autor: Pavel Hudousek
Diplomová práce
Datum: 20.3.2015

Příloha 9: Charakteristika predikovaných kritických úseků na silnicích pro obojživelníky v ČR.

ID	Číslo silnice	Třída	Délka úseku (m)	Intenzita dopravy	Souřadnice (S-JTSK)
1	2295	5	6106,555796	N	-809842,-1034040
2	23314	5	6187,186412	N	-785752,-1051240
3	11540	5	3085,52271	N	-773245,-1059360
4	2351	5	1900,857718	N	-794259,-1062130
5	107	4	827,37722	5	-730345,-1063310
6	1149	5	3361,884309	3	-782488,-1066540
7	3121	5	5107,09054	N	-605079,-1070690
8	11112	5	4332,635726	N	-730042,-1083640
9	3369	5	7559,288945	1	-703130,-1085060
10	12517	5	8155,301762	N	-706399,-1087600
11	1116	5	2721,778285	N	-732545,-1089410
12	102	4	3595,14572	2	-760380,-1093640
13	118	4	7957,125076	2	-758898,-1097350
14	36826	5	5225,828521	0	-592507,-1099650
15	37418	5	5340,743048	3	-593735,-1124440
16	387	4	3415,041438	3	-614081,-1131040
17	37610	5	4397,980918	0	-600845,-1134420
18	37365	5	4661,797713	2	-584462,-1150680
19	37925	5	5062,613503	0	-577774,-1152650
20	2832	5	5154,823045	0	-680445,-992146
21	232	4	4238,298582	3	-806724,-1059840
22	369	4	3720,591575	3	-569885,-1081630

Legenda: ID – identifikační číslo, Intenzita dopravy: (N) – nevidované úseky, (1) – 0–500 voz/den, (2) – 501–1000 voz/den, (3) – 1001–2000 voz/den, (5) – 5001–7000 voz/den.