

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra aplikované ekologie**



**Železniční ekologie – kolize vlaků s lesní zvěří**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Keken, Ph.D.

Diplomant: Bc. Petr Matějka

2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Matějka

Regionální environmentální správa

Název práce

Železniční ekologie – kolize vlaků s lesní zvířetí

Název anglicky

Railway ecology – Wildlife train collisions

---

Cíle práce

Cílem diplomové práce je identifikovat riziková místa z pohledu spoluexistence jak silniční, tak železniční infrastruktury v kontextu dopravních kolizí s lesní zvířetí na území České republiky.

Metodika

Práce bude založena na detailní analýze dostupných záznamů kolizí a vyhodnocení rizikových míst v kontextu dopravní infrastruktury. Dále bude přidána analýza území v širším kontextu zjištěných rizikových míst.

**Doporučený rozsah práce**

50 – 60 stran textu; cca 10 stran příloh

**Klíčová slova**

Fragmentace, bariéra, železnice, průchodnost, mortalita, zvěř

---

**Doporučené zdroje informací**

- Andersen, R., Wiseth, B., Pedersen, P.H., Jaren, J. 1991. Moose–train collisions: effects of environmental conditions. *Alces* 27: 79–84.
- Child, K.N., Barry, S.P., Aitken, D.A. 1991. Moose mortality on highways and railways in British Columbia. *Alces* 27: 41–49.
- Keken, Z., Kušta, T., Langer, P., Skaloš, J. 2016. Landscape structural changes between 1950 and 2012 and their role in wildlife–vehicle collisions in the Czech Republic. *Land Use Policy* 59: 543–556.
- Kušta, T., Holá, M., Keken, Z., Ježek, M., Zíka, T., Hart, V. 2014b. Deer on the railway lines: spatiotemporal trends in mortality patterns of roe deer. *Turkish Journal of Zoology* 38: 479–485.
- Kušta, T., Ježek, M., Keken, Z. 2011. Mortality of large mammals on railway tracks. *Scientia Agriculturae Bohemica* 42: 12–18.
- Rea, R.V., Child, K.N., Spata, D.P., MacDonald, D. 2010. Road and rail side vegetation management implications of habitat use by moose relative to brush cutting season. *Environmental Management* 46: 101–109.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Zdeněk Keken, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2018

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2018

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2018

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Kekena, Ph.D. a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 12. 4. 2018

.....

### **Poděkování**

Mé poděkování patří Ing. Zdeňku Kekenovi, Ph.D. za příkladné odborné vedení a ochotu, se kterou se mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval. Dále bych rád poděkoval Mgr. Vojtěchu Cíchovi z Centra dopravního výzkumu za poskytnutí databáze střetů divoké zvěře a konzultace pro využití GIS nástroje KDE+. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině za trpělivost a podporu.

## **Abstrakt**

V této diplomové práci se věnuji problematice vyhodnocení rizikových míst s ohledem na dostupnou evidenci střetů dopravních prostředků s divokou zvěří. Vzhledem k absenci přímé databáze těchto střetů na železnici je využito databáze nehod primárně zaznamenaných v rámci silniční dopravy. Vhodným sestavením GIS analýzy došlo k vyhodnocení nejrizikovějších míst v oblasti železnice. Na takto vyhodnocená místa byla aplikována další analýza na zjištění souvislostí ve vzniku dopravních nehod. Analýzou došlo k vyhodnocení souběžných migračních bariér železnice a silnice, u kterých je vhodné aplikovat společné řešení pro snížení následků dopravních nehod. V další analýze došlo k vyhodnocení širších vztahů s ohledem na ověření nejrizikovějších měsíců ke vzniku střetů (květen, říjen a listopad) a zastoupení krajinného pokryvu vegetace ve vyhodnocených rizikových místech. Většina vyhodnocených hotspotů vykazuje obdobné vlastnosti s ohledem na zastoupení lesních biotopů či průchod liniových prvků zeleně.

## **Klíčová slova**

Fragmentace, bariéra, železnice, průchodnost, mortalita, zvěř

## **Abstract**

This thesis is dedicated to the issues related to the evaluation of the areas with the high-risk of collision between the vehicles and the wild animals using the available reported data of such collisions. Since there is an absence of the database of collisions within the railway traffic, the data from the road traffic have been used as the primary source. Carrying out the appropriate GIS analysis I have obtained a list of areas with the highest risk of the traffic accidents. Further I analysed the other relations causing the traffic accidents. Based on obtained data it was possible to determine the areas where applying the parallel migration barriers along the railways and roads would possibly minimize the occurrence of the collisions. Subsequently the broader data such as the months with the highest occurrences of the incidents (May, October and November) and the vegetation coverage of the surrounding areas were incorporated in the analysis. The majority of the evaluated hotspots share the similar ratio of the forest bio-topes and green line passages.

## **Keywords**

Fragmentation, barrier, railway, throughput, mortality, wild animals

## Obsah

1. Úvod .....	12
2. Cíle práce .....	13
3. Literární rešerše .....	14
3.1 Krajina .....	14
3.1.1 Fragmentace krajiny .....	14
3.1.2 Územní systém ekologické stability (ÚSES) .....	19
3.2 Železnice .....	19
3.2.1 Historický vývoj železnice na našem území .....	19
3.2.2 Vývoj železnice ČR.....	21
3.2.3 Železnice v enviromentálním kontextu .....	22
3.3 Migrace živočichů v okolí železnice .....	24
3.3.1 Mortalita živočichů způsobená střety s dopravními prostředky.....	25
3.3.2 Omezení dopadů .....	26
3.3.3 Metody pro sledování pohybu a úmrtnosti volně žijících živočichů.....	29
3.4 Počítačové modelování v krajině .....	31
3.4.1 Geografické informační systémy (GIS) .....	31
3.4.2 Prostorová analýza.....	33
3.4.3 Metoda odhadu hustoty jádra .....	34
4. Metodika .....	36
4.1 Použitá data .....	36
4.2 Analýza dat.....	37
4.2.1 Identifikace souběžných bariér .....	37
4.2.2 Širší vztahy .....	38
4.2.3 Statistické testování.....	38
5. Výsledky .....	39
5.1 Analýza dat pro získání hot spot.....	39
5.1.1 Identifikace souběžných bariér .....	42
5.1.2 Širší vztahy .....	44
6. Diskuze.....	51
6.1 Analýza dat pro získání hot spot.....	51
6.2 Identifikace souběžných bariér .....	51



6.3	Časový horizont.....	51
6.4	Širší vztahy.....	51
7.	Závěr .....	53
8.	Seznam literatury.....	54
9.	Přílohy .....	60

## Seznam obrázků a tabulek

Obr. č. 1: Krajina.....	14
Obr. č. 2: Ztráta přirozeného prostředí zvýšením hustoty dopravní infrastruktury.	15
Obr. č. 3: Krajina fragmentovaná železniční infrastrukturou.....	15
Obr. č. 4: Vedení dopravní infrastruktury.....	18
Obr. č. 5: Lokomotiva řady 380.....	25
Obr. č. 6: Železniční most vybavený římsou pro průchod osob a zvěře .....	27
Obr. č. 7: GIS a vztahy mezi obory.....	32
Obr. č. 8: Rozdíl mezi manhattanským a euklidovským zpracováním dat.....	33
Obr. č. 9: Rozdíl zpracování dat KDE a KDE+ .....	34
Obr. č. 10: Vyobrazení střetů z portálu srazenazver.cz.....	37
Obr. č. 11: Pracovní prostředí nástroje KDE+ v programu ArcGIS.....	38
Obr. č. 12: Výsledné hotspoty v ústeckém kraji funkcí KDE+ .....	39
Obr. č. 13: Graf zastoupení hotspotů v krajích .....	40
Obr. č. 14: Výsledné hotspoty dle kategorie významnosti.....	41
Obr. č. 15: Graf zastoupení jednotlivých kategorií hotspotů.....	41
Obr. č. 16: Graf zastoupení hotspotů kategorie 1 až 3 v krajích .....	42
Obr. č. 17: Zobrazení souběžných liniových staveb .....	43
Obr. č. 18: Ovlivněné silnice a železnice v hotspotech nad Berounem .....	44
Obr. č. 19: Počet nehod v jednotlivých měsících .....	45
Obr. č. 20: Vývoj počtu nehod v letech 2011 až 2017.....	45
Obr. č. 21: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2011 .....	46
Obr. č. 22: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2012 .....	46
Obr. č. 23: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2013 .....	46
Obr. č. 24: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2014 .....	47
Obr. č. 25: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2015 .....	47
Obr. č. 26: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2016 .....	47
Obr. č. 27: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2017 .....	48
Obr. č. 28: Hotspot 1 kategorie ovlivňuje procházející DMK .....	49
Obr. č. 29: Hotspot 2 kategorie ovlivňuje procházející DMK .....	50

Tab. č. 1: Základní charakteristika železniční sítě ČR.....	20
Tab. č. 2: Přeprava věcí po železnici.....	20
Tab. č. 3: Přeprava cestujících po železnici.....	21
Tab. č. 4: Počet hotspotů v jednotlivých kategoriích .....	40
Tab. č. 5: Délka silnic tvořících souběžnou bariéru dle třídy .....	43

### **Seznam použitých zkratk**

CDV – Centrum dopravního výzkumu

DMK – dálkové migrační koridory

DN – vnitřní průřez potrubí

EIA – posuzování vlivu záměrů na životní prostředí a lidské zdraví

GIS – geografický informační systém

KDE – kernel density estimation

MT – migrační trasy

MVÚ – migračně významná území

SEA – posuzování vlivů koncepcí na životní prostředí a lidské zdraví

ÚSES – územní systém ekologické stability

VRT – vysokorychlostní trať

## 1. Úvod

Železniční doprava je účinnější než silniční doprava pro přepravu osob i zboží díky vyšší energetické účinnosti. Pro svůj provoz potřebuje menší zabrané území, není natolik omezena hustotou provozu oproti silniční dopravě, produkuje méně emisí skleníkových plynů a také patří k nejbezpečnějším formám dopravy.

Po železnici se vlaky denně přepravuje značné množství lidí do zaměstnání, mezi bydlištěm a prací, cestují za poznáním na výlety a odpočinkem na dovolenou. Na železnici se převáží suroviny do továren a dopravuje nepřeborné množství komodit. Svou infrastrukturou je železnice nejvhodnější k přepravě na příměstskou, meziměstskou, vnitrostátní a mezistátní přepravu.

V bezprostřední blízkosti železnice žije mnoho volně žijících živočichů, kteří jsou ovlivněni železničním provozem. Smrtné kolize živočichů s železnicí jsou běžně neviditelné pro cestující, ale způsobená škoda na ekosystémech je značná. Předcházení dopravních nehod a omezování jejich důsledků by mělo být cílem v každé vyspělé společnosti. Základním nástrojem pro splnění tohoto cíle by mělo být přesné identifikování nebezpečných míst na dopravních stavbách. Naštěstí se této problematice aktuálně dostává pozornosti. Na silniční dopravu již existuje mnoho studií řešících danou problematiku, železniční ekologie má za sebou počátky a začíná se postupně rozvíjet. Úmrtnost velkých savců může mít velké dopady na jejich populace, zejména na druhy, které jsou ohrožené, s nízkou populační hustotou a druhy s nízkou reprodukční schopností (van der Grift a Kuijsters, 1998; van der Grift, 1999).

S ohledem na stále se zvyšující debaty o podobě moderní železnice v České republice je důležité se pečlivě věnovat problematice vzniku bariéry pro živočichy, vlivy na půdu a vodu, na ovzduší a ekosystémy. Česká republika stojí na rozmezí mezi zastaralou strukturou stávající železniční sítě s nedostatečnou kapacitou přepravy a modernizací, či výstavbou nové moderní podoby železnice pro 21. století. Od 90. let 20. století došlo k výstavbě rychlostních koridorů, které dosahují provozní rychlosti 160 km/h. Nyní při dokončení části této rychlé železniční sítě zjišťujeme, že původně navržená rychlost a dopravní kapacita již nebudou dostačovat pro aktuální, natož budoucí potřeby. Proto je na pořadu dne urychlená výstavba moderních vysokorychlostních koridorů dosahujících značné přepravní kapacity a provozní rychlosti až 300 km/h. Vláda České republiky aktuálně „tlačí“ na urychlené studie a projekty těchto vysokorychlostních tratí (VRT). Jako nutné se jeví stavět tyto VRT v podobě nové železniční infrastruktury bez zátěže podoby železnice předchozí. Tyto VRT jsou v Evropě většinou oploceny, nebo uzavřeny v protihlukových stěnách a tím brání migraci velkých savců (Groot a Hazebroek, 1996).

Souběžně s budováním nových VRT je v České republice aktuální téma sjednocení napájecích soustav elektrických tratí. Aktuálně využívané 3 systémy napájení budou v budoucnu nahrazeny jedním systémem pro střídavé napětí 25 kV 50 Hz na celém

území. To přinese vysokou efektivitu při využití elektrické energie a značné úspory při provozu železnice. V souvislosti s přechodem na jednotnou napájecí soustavu jsou připravovány plány dodatečné elektrifikace stávajících motorových tratí. Zde málo energeticky účinné dieselové stroje nahradí plně elektrifikované tratě s moderními elektrickými soupravami (Svoboda, 2016).

Tato výstavba nových VRT tratí a modernizace stávajících železničních vedení s průběžnou elektrifikací bude mít značný vliv na další fragmentaci krajiny, přeměnu a ztráty biotopů a biologickou rozmanitost.

## **2. Cíle práce**

Cílem diplomové práce je identifikovat kritická místa na křížení zelené a železniční dopravní infrastruktury. Zelenou infrastrukturou se rozumí území vhodná pro migraci živočichů, která jsou obvykle součástí územního systému ekologické stability (ÚSES).

Pro identifikaci kritických míst je třeba získat potřebná data, na základě, kterých dojde k vyhodnocení kritických míst možných srážek drážních vozidel se zvěří. Dále dojde k identifikaci migračních bariér, ve kterých jsou souběžně vedena železnice a pozemní komunikace. Poslední analýzou bude širší analýza vyhodnocených míst s ohledem na využití krajiny, roční období a kategorii železnice.

Z těchto analýz vznikne mapa kritických míst na železnici a oblastí vhodných k společnému řešení prostupnosti krajiny zelenou infrastrukturou.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Krajina

Pod pojmem krajina (obr. č. 1) si každý představí rozmanitou podobu přírodního prostředí kolem sebe. Tento pohled bude ovlivněn věkem jedince, životní zkušeností, mentálním zaměřením, společenským postavením a životními zkušenostmi. Se vzrůstajícím věkem se často tento pohled mění, v dětství vnímáme krajinu jako prostředek vyžití, její hodnoty nás začnou ve většině případů zajímat až se zvyšujícím se věkem.

Dle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění, je krajina část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky.



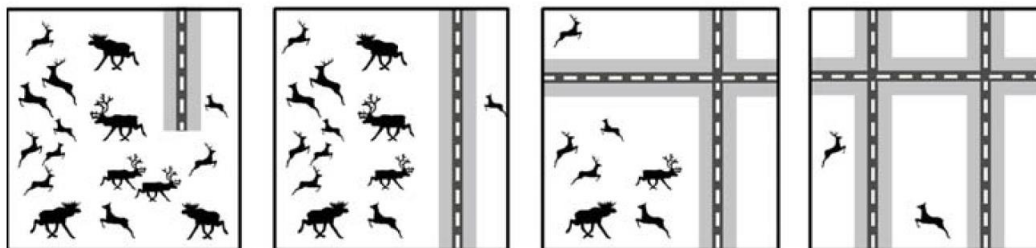
Obr. č. 1: Krajina  
(autor Matějka, 2017)

##### 3.1.1 Fragmentace krajiny

Původní krajina nedotčená člověkem nazývaná krajinou přírodní patří k nejhodnotnějšímu druhu krajiny. Dnes je tato krajina reprezentována krajinou přirozenou, tj. krajinou s přirozenou vegetací. S vývojem lidské společnosti dochází k přeměně přírodní krajiny na krajinu kulturní. Zde se již do krajiny zapsal člověk stavbou socioekonomických prvků (sídla, cesty, zemědělské plochy aj.).

Během pokračující urbanizace došlo postupným dělením plochy přirozené krajiny ke zmenšení dílčí plošky a plochy přirozené krajiny. Tomuto procesu dělení ploch krajiny říkáme fragmentace.

Z dnešního pohledu jde o nejzávažnější stav členění krajiny, přímo ovlivňující populace volně žijících živočichů. Jde o děj, kdy se krajinné celky (biotopy) dělí vytvářením bariér na dílčí části, které postupně ztrácejí potenciál k vykonávání původních funkcí. Proces fragmentace v sobě tedy zahrnuje postupné snižování přirozeného prostředí, jak ukazuje obrázek č. 2 (Anthony a kol., 2011).



Obr. č. 2: Ztráta přirozeného prostředí zvýšením hustoty dopravní infrastruktury (autor Anthony a kol., 2011)

K fragmentaci krajiny (obr. č. 3) dopravní infrastrukturou často dochází již při výstavbě liniových staveb (železnice, pozemní komunikace). Počátky tohoto procesu zasahují do období průmyslové revoluce s rozmachem výstavby nových dopravních spojení a pokračují až do dnešních dnů.



Obr. č. 3: Krajina fragmentovaná železniční infrastrukturou. (autor Matějka, 2017)



Základní subjekty používané při popisu fragmentace podle Anděla (2005) jsou:

### **Hodnocení biologický systém**

Biologický systém na úrovni populace, společenstva nebo ekosystému, který je předmětem hodnocení z hlediska fragmentace.

### **Zájmové území**

Část zemského povrchu, na kterém evidujeme výskyt (např. konkrétní biotop), který je předmětem sledování. **Fragmentační bariéra**

Překážka, která rozdělí původní sledované území na dílčí části tak, že pohyb organismů je již nedostatečný, aby mohlo být území považováno za jeden celek. Antropogenní fragmentace krajiny je známá jako hlavní důvod pro ztrátu druhů v průmyslových zemích. Fragmentace krajiny způsobené silnicemi, železnicemi a rozšiřováním sídel zvyšuje rozptyl znečišťujících látek a akustických emisí a má vliv na místní klimatické podmínky, vodní bilanci, scenerie a využití půdy (Jaeger, 2000).

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický liniiovou stavbu definuje jako stavbu, u které převládá jeden rozměr a to délka nad šířkou a výškou. Podle stanoviska MMR lze považovat liniiové stavby za stavby s natolik podélným půdorysem, že jejich prostorovou polohu vyjadřuje čára, například stavby pozemních komunikací, železniční dráhy, energetické nebo telekomunikační vedení. Dopravní stavby, dálnice, silnice a železnice patří k hlavním faktorům způsobujícím fragmentaci krajiny (Anděl, 2005). Fragmentace území liniiovými stavbami je chápána jako rozdělení přírodních ploch na menší oblasti, které jsou více či méně izolované. Následkem fragmentace jsou dle Týfy (2017) nepříznivé ekologické efekty, působící mnohdy současně:

- estetické znehodnocení krajiny;
- bariérový efekt;
- zábor půdy;
- kolize vozidel s živočichy;
- degradace biotopů (šíření invazních druhů);
- rušení a znečištění okolí liniiové stavby provozem na ní.

Stupeň fragmentace krajiny dopravou je dán kromě geomorfologických podmínek především celkovým rozvojem dopravy. Z tohoto pohledu je současný stav fragmentace ČR stále mnohem nižší než v zemích západní Evropy.

Fragmentace krajiny dopravou nepřináší pouze izolaci dílčích populací, ale je spojena s řadou dalších negativních jevů. Nejnápadnějším je usmrcování živočichů na komunikacích, které má kromě dimenze ekologické také dopravně bezpečnostní rozměr (Miko, 2009).

Kvalita a struktura krajinného pokryvu, tedy vlastních habitatů zájmových druhů, hraje klíčovou roli pro jejich distribuci a šíření. Koridory jsou pásy užívané pro dopravu, migraci, vylišení hranice, ochranu a jiné (Kušta, 2011).

Pro vymezení migračních koridorů je proto zásadní stanovení minimálních prostorových nároků vybraných druhů zvěře a charakter jejich využívání habitatů. Analýza krajinného pokryvu, zejména rozložení a míry propojení lesních celků, rozptýlené zeleně, popřípadě přírodě blízkých zemědělských ploch, je proto klíčová pro upřesnění vedení migračních koridorů. Je tedy nutné kromě sledování hlavního migračního směru přihlížet zejména k celkové struktuře krajiny i v širším okolí (Rompotl a kol., 2006).

Liniové stavby jsou významnou překážkou migrace pro řadu nelétajících živočichů, včetně velkých šelem. Jednotlivé populace tak mohou zůstat navzájem izolované. Neúspěšné překonání dálnice zvíře odradí od dalších pokusů nebo může skončit smrtí živočicha. Příliš malé populace mají při náhodných fluktuacích větší pravděpodobnost vymření a rovněž se snižuje jejich genetická variabilita. Zhoršená průchodnost krajiny dále rozbíjí sociální strukturu populací (Jackson, 2000). Migrační trasy jsou nejnižší jednotkou v rámci hierarchického uspořádání. Představují detailní řešení překonání kritických míst v rámci migračního koridoru. Jedná se o podrobně vymezené trasy v šířce řádově sta metrů, u kterých jsou přesně specifikována technická optimalizační opatření, například zprůchodnění migračních bariér, úpravy migračních objektů, výsadby dřevin a další opatření. Je nezbytné řešit migrační koridory pouze v místech, kde hrozí jejich přerušení, a tam, kde jsou pro zachování migrace nezbytná technická opatření (Klescht, 2002).

Kategorizace bariérového efektu a následná klasifikace jednotlivých úseků koridorů je zásadní metodickou etapou při vymezování migračních koridorů a jejich hodnocení dle průchodnosti:

- K1 Z mechanických důvodů zcela neprostupná železnice – nejčastěji vysokorychlostní koridory.
- K2 Z mechanických důvodů železnice s významnými překážkami s částečnou prostupností – ostatní více Kolejné tratě.
- K3 Menší úprava okolního terénu s dobrou prostupností – regionální železniční tratě.
- P Minimální úprava vůči okolnímu terénu – místní málo využívané železniční tratě.

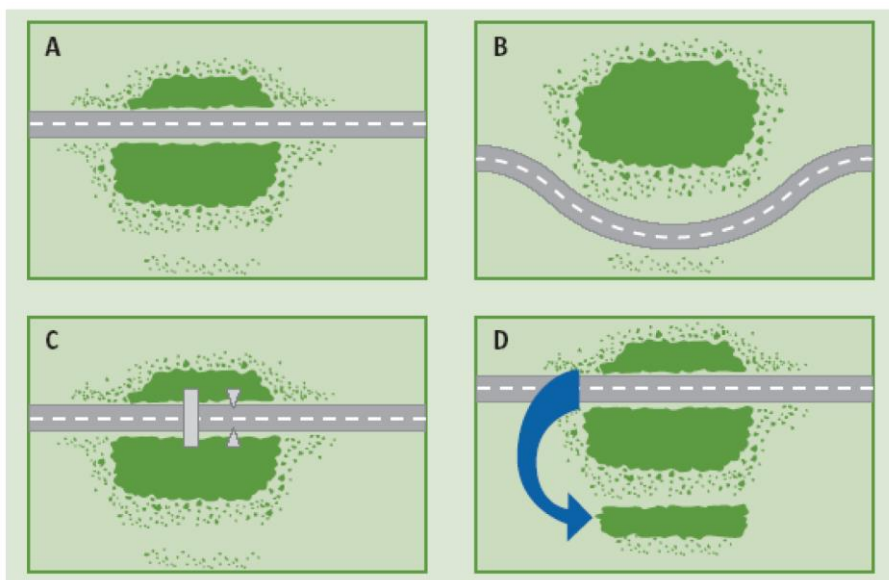
Dopravní infrastruktura nemusí vůbec ovlivnit některé druhy malých savců a ptáků, kteří obývají životní areály o malé ploše a pohybují se na krátkou vzdálenost. Tyto druhy mohou žít nerušeně mezi koridory, které pro ostatní druhy znamenají nepřekonatelnou bariéru. Tato populace může i ze vzniklého odloučení ve svém životě profitovat, infrastruktura tvořící bariéru jim poskytne potřebnou ochranu před většími predátory (Fahrig a Rytwinski, 2009).

Problém vzniku fragmentace krajiny by měl být řešen ve všech krocích plánu výstavby dopravní infrastruktury. Prvotním cílem při výstavbě v krajině by mělo být zachování spojitosti. Z tohoto důvodu je důležité mít popsání a vyhodnocení krizová místa – tzv. blackspots. Prvotní snaha by měla být vyhnout se těmto místům, pokud není jiná možnost, navrhnout potřebná zmírňující opatření. Pokud by byl potřebný efekt těchto opatření minimální, dojde k návrhu kompenzace (Damarad a Bekker, 2003; Luell a kol., 2003).

Výběr nové trasy (obr. č. 4) je důležité volit v první fázi tak, aby vůbec nezasahovala do chráněného území. Díky tomuto pečlivému výběru vhodné trasy se vyhneme výstavbě drahých migračních objektů (Damarad a Bekker, 2003; Luell a kol., 2003).

Tento stav můžeme považovat jako ideální, v praxi však často z různých důvodů nepoužitelný. Proto pokud musí být dopravní trasa vedena přes chráněné území, je třeba navrhnout patřičná zmírňující opatření, která zachovají potřebnou konektivitu a původní migrační profil trasy. Zaměřit se je třeba na místa, kde dopravní infrastruktura protíná vodní toky, lesy, hráze a liniové prvky zeleně (Clevenger, 2000; Anděl a kol., 2005).

Ke kompenzaci se přistupuje v případě, kdy navržená zmírňující opatření mohou postrádat potřebnou efektivitu a neúměrně navyšovat náklady realizace dopravní infrastruktury. V tomto případě kompenzace zastupuje opatření, které obnoví nebo zhodnotí ekosystémy a biotopy jako náhradu za škody způsobené při výstavbě dopravní infrastruktury. Jde o poslední možnost náhrady za fragmentaci krajiny. S ohledem na vznik méně hodnotného nového ekosystému by měla být využívána jako poslední šance (Damarad a Bekker, 2003).



Obr. č. 4: Vedení dopravní infrastruktury. A – fragmentace, B – vyhnutí se území, C – zmírňující opatření, D - kompenzace.  
(autor Luell a kol., 2003)

### **3.1.2 Územní systém ekologické stability (ÚSES)**

Dálkové migrační koridory a migračně významná území tvoří spolu s ÚSES ekologickou sítí v krajině pro ochranu přírody. Z pohledu významných propojení a možností společné ochrany jsou u obou systémů podstatné prostorové vztahy. Dálkové migrační koridory propojují cca 70% nadregionálních a 30% regionálních biocenter. Ochranné pásmo nadregionálních biokoridorů je stanoveno na 2 km od jejich osy na každou stranu. Tento prostor pokrývá až 40% délky migračních koridorů. Systém ÚSES a DMK vytváří řadu společných částí z obou systémů. I tak nemůžeme oba systémy plně zaměnit.

Systém ÚSES staví na odlišných základech, prvotním záměrem se zabývá převážně ochranou biotopů jak v lesech, tak i mimo ně. Z tohoto důvodu trasa biokoridorů nekopíruje ideální trasy pro migraci velkých savců s životním areálem v lesním prostředí.

Systém ÚSES umožňuje přerušení biokoridorů, čímž se stávají pro velké savce neprostupné. Podstatnou výhodou z pohledu ochrany DMK v praxi je jasné zakotvení ÚSES v české legislativě i územním plánování. Proto pokud je jen trochu možné vést ÚSES a DMK společně, získáme optimální nástroj ochrany dálkových migračních tras (Anděl a kol., 2010).

## **3.2 Železnice**

### **3.2.1 Historický vývoj železnice na našem území**

Počátky železniční dopravy v České republice datujeme do první poloviny 19. století. První koněspřežná dráha spojila roku 1828 Linz a České Budějovice. Následuje mohutná výstavba parostrojní železnice od poloviny 19. století za účasti státu.

Mezi první u nás nově budované tratě patřila Buštěhradská dráha, která postavila krátkou trať roku 1855 z Kladna do Kralup nad Vltavou. Díky finančnímu úspěchu došlo k velkému rozšíření tratí společnosti od Prahy k hranicím s Německem.

Během 1. světové války přebrala železniční síť úlohu dopravního uzlu pro potřeby armády, čímž v dopravním grafikonu došlo k radikálnímu omezení civilní dopravy.

Po první světové válce vzniklo Československo, které převzalo iniciativu ve správě a výstavbě železničních tratí – vznik ČSD. Postupně došlo ke znárodnění většiny drah díky špatné ekonomické situaci firem, jež byly zdevastovány válkou.

Za 2. světové války již plnila železnice hlavní dopravní úlohu armád bojujících stran. K dělení státních drah došlo během přijetí diktátu

Prvním úkolem v poválečném období byla obnova železniční sítě a vozového parku. Prvorepublikový plán elektrizace hlavních tratí dostal jasné rysy v podobě zavedení elektrifikace hlavních tratí stejnosměrným napájením 3kV. Od roku 1963 byla zahájena elektrizace železničních tratí střídavou soustavou 25kV 50 Hz. Odborná veřejnost neměla jasno, která soustava (stejnosměrná či střídavá) je výhodnější,

proto došlo k rozdělení státu na dvě části s rozdílnou elektrifikací. Na stykových místech soustav došlo k budování tzv. stykových stanic, ve kterých docházelo k přepřahání lokomotiv. Vozbu páteřních tratí v rámci státu ovládli elektrické lokomotivy, na lokálních, průmyslových a vedlejších tratích došlo k nasazení nově zkonstruovaných motorových lokomotiv. Neekologická parní trakce byla oficiálně ukončena roku 1980.

Po roce 1989 dochází k postupnému útlumu nákladní drážní dopravy a k tlaku na postupné zrušení dotované osobní dopravy v málo vytížených úsecích. V roce 1994 byl přijat nový Zákon o drahách (266/1994Sb.), který zavedl kategorizaci drah a připravil prostor k provozu soukromých dopravců a privatizaci regionálních drah (Schreier, 2004, 2009).

Již roku 1988 započalo projektování a výstavba tranzitních železničních koridorů s provozní rychlostí 160 km/h. V rámci výstavby a modernizace těchto koridorů dochází k výstavbě protihlukových stěn tvořících významné bariéry v migraci volně žijících živočichů. První koridor byl roku 1993 budován mezi Prahou a Českou Třebovou. Finančně nákladné projekty na koridorech jsou ve fázi započetí výstavby (Praha – Beroun, průjezdnost města Plzeň) nebo ve fázi předběžných studií či úvah (tzv. pátý železniční koridor Praha – Liberec) (Schreier, 2010).

Délka tratí celkem	9458 km
Délka koridorových tratí evropského železničního systému	1329 km
Délka tratí zařazených do evropského železničního systému	1265 km
Délka ostatních celostátních tratí	2430 km
Délka regionálních tratí	4409 km
Ostatní tratě (vlečky)	25 km
Počet mostů	6798
Počet tunelů	164

Tab. č. 1: Základní charakteristika železniční sítě ČR.

(zdroj SŽDC, 2014)

Přeprava věcí celkem	97280 tis. t
Z toho vnitrostátní přeprava	42069 tis. t
Z toho mezinárodní přeprava	55211 tis. t

Tab. č. 2: Přeprava věcí po železnici.

(zdroj MDČR, 2016)

Přeprava cestujících celkem	176623,7 tis.
Z toho vnitrostátní přeprava	171976,1 tis.
Z toho mezinárodní přeprava	4647,6 tis.

Tab. č. 3: Přeprava cestujících po železnici.

(zdroj MDČR, 2016)

### 3.2.2 Vývoj železnice ČR

V současnosti dochází k modernizacím čtyř stávajících tranzitních železničních koridorů.

Výběr I. a II. železničního koridoru v začátku modernizace koridorů je opodstatněn tím, že jsou tyto koridory součástí IV. resp. VI. panevropského koridoru. Díky tomu získala modernizace těchto koridorů v ČR prioritu při splnění přijatých cílů modernizace:

- napojení vybrané sítě ČD na hlavní evropské magistrály;
- naplnění podmínek integrace ČR do evropských struktur;
- snižování zátěže životního prostředí;
- zvýšení bezpečnosti provozu novými technologickými zařízeními;
- zvýšení cestovní rychlosti v osobní železniční dopravě;
- rozšíření služeb pro přepravce využitím mezinárodní kombinované dopravy.

Za nejpodstatnější v modernizaci tratí na parametry koridoru můžeme považovat zvýšení provozní rychlosti na 160 km/h a prodloužení předjízdových kolejí na 700-750 m. Obě tato opatření mají za následek zvýšení kapacity tratě.

Ve spojení s dostavbou a modernizací koridorů schválila centrální komise Ministerstva dopravy dne 20. 12. 2016 studii pro koncepci přechodu na jednotnou napájecí soustavu. Tímto krokem byl schválen cíl na sjednocení trakčního napájení v České republice. Toto trakční napájení tak bude v budoucnu realizováno pouze střídavou soustavou 25 kV 50 Hz (aktuálně jižní část ČR). Tato studie předpokládá dokončení přechodu na jednotnou napájecí soustavu do roku 2037.

Nově vzniká debata a studie pro výstavbu vysokorychlostních tratí (VRT) v rámci území ČR. Tyto tratě mají za cíl propojit sídelní aglomerace kategorie NUTS 2 (územní celky národních regionů dle evropského statistického úřadu Eurostat s počtem obyvatel 800 – 3000tis obyvatel) v rámci Evropy.

Za tímto účelem byla v ČR přijata Dopravní politika české republiky pro období 2016–2020 s výhledem do roku 2050 a návazné strategické dokumenty vč. Dopravních sektorových strategií II. fáze jako vrcholový nelegislativní dokument vlády ČR pro sektor dopravy (MD ČR, 2017).

### **Ve výstavbě VRT v ČR jsou uvažovány trasy:**

Berlín – Praha – Brno – Vídeň/Budapešť

Vídeň – Brno – Ostrava – Varšava

Mnichov – Praha – Wroclaw – Varšava

Praha – Brno – Ostrava

Aktuálně dochází ke komunikaci na mezinárodní úrovni v rámci okolních států s ohledem na zpracování alternativního vedení některých tras. Předpokládá se etapizace výstavby VRT:

1. etapa – výjezdy VRT z městských aglomerací, přeshraniční úseky
2. etapa – páteřní síť VRT v ČR, rychlost vozidel nad 200 km/h
3. etapa – ČR plnohodnotnou součástí evropského systému VRT

### **3.2.3 Železnice v enviromentálním kontextu**

Výstavba a provoz železnice má za následek změny v okolní krajině, které ovlivňují místní mikroklima, půdu a hydrologické podmínky. Tyto změny přispívají k degradaci přírodních stanovišť pro mnoho druhů (Eigenbrood a kol., 2009). K hlavním dopadům železničního provozu řadíme zhoršení ovzduší (produkce prachových částic PM v rámci celého železničního provozu, neelektrifikovaná trakce navíc tvorba zplodin), půdy, znečištění vody, nadměrný hluk a vibrace, které mohou změnit druhovou bohatost a četnost druhů (Clauzel a kol., 2013).

#### **Hluk a vibrace**

Tato zátěž představuje hlavně samotný vzduchem představený zvuk, nebo vibrace indukované v důsledku železniční dopravy (Palacim a kol., 2014). Hlavní zdroj hluku pochází od nákladní dopravy, následovaný vysokorychlostní železnicí (Guarironi a kol., 2012). Hladina hluku se liší v závislosti počasí a typu krajiny (Chiocchia a kol., 2010). Mlha brání absorpci zvuku, ale omezuje rozptýlení hluku do okolí.

#### **Znečištění ovzduší**

Emise plynů z provozu představuje významný zdroj znečištění životního prostředí na celém světě (Hofman a kol., 2014). Potenciální zdroje znečišťujících látek spojených s železnicí jsou výfukové plyny vznětových motorů, oděr z brzd, kol a kolejnic a víření prachu v okolí kolejového svršku (Levengood a kol., 2015).

#### **Energetická účinnost železniční dopravy ČR**

S ohledem na změny klimatu a přijetí závěrečného protokolu pařížské klimatické konference 2015 bude nutné omezit využití fosilních paliv – uhlí, ropu a zemní plyn.

Od začátku doby industriální do roku 2015 již došlo spalováním fosilních paliv k přemístění cca 410 miliard tun uhlíku, původně vázaného v uhlí, ropě a zemním plynu, z podzemí do atmosféry. Zástupci České republiky podepsali pařížský protokol dne 22. dubna 2016 na jednání v New Yorku a dne 21. září schválila vláda České republiky jeho ratifikaci.

Pro splnění tohoto závazku existuje více možností. Jednou z možností je předpoklad nezvyšování dosavadní spotřeby fosilních paliv se stagnací na úrovni let 2014 a 2015. Při této úrovni bude cílového oteplení o 1,5° dosaženo již v roce 2038. Z uvedeného je patrné, že mnohem realističtější bude předpoklad postupného snižování spotřeby fosilních paliv k jejich nulové spotřebě.

Jednou z cest splnění požadavků energetického balíčku je zvýšení energetické účinnosti o 30%. Tato cesta bude povinný cíl, který zemím Evropské unie přinese nejen kýžené úspory energie, ale i technologický pokrok v podobě nových technologií, nových exportních příležitostí, poklesu importu uhlovodíkových paliv a rozvoji znalostí.

Se stávající spotřebou energií v České republice bude problém naplnit požadavky energetické účinnosti k roku 2020. Území české republiky nemá dobré podmínky pro rozvoj obnovitelných zdrojů elektrické energie, chybí jí větrná pobřeží, velehory, mohutné vodní toky s velkým hydrologickým potenciálem. Z tohoto důvodu je důležité se soustředit na samotné hospodaření s energií, ve kterém má Česká republika velké rezervy. V dopravě převládá dominantní podíl energeticky náročné automobilové dopravy. Jako typický příklad lze uvést pražskou příměstskou dopravu v níž individuální automobily zajišťují 51% přepravních výkonů, na které spotřebují 88% energie, zatímco městská hromadná doprava spotřebuje k zajištění 49% přepravních výkonů pouze 12% energie.

V této souvislosti stojí za zmínku, že převod 30% silniční nákladní dopravy na železnici, motivovaný snížením emisí, představuje v úrovni přepravních výkonů železnice z roku 2015 úsporu energie 4,7 miliard kWh/rok. To znamená, že již nyní vytyčený převod 30% silniční nákladní dopravy na železnici je v České republice schopen zajistit polovinu úspor potřebných na naplnění nového požadavku Evropské unie na zvýšení energetické účinnosti z 27% na 30% v horizontu roku 2030, které reprezentuje spotřeba 9,5 miliard kWh/rok (Pohl, 2016).

Železniční síť v České republice je zatížena nákladní dopravou velmi nerovnoměrně.

Železniční tratě celostátní sítě TEN-T reprezentující 27% délky železniční sítě, se podílejí na dopravních výkonech nákladní dopravy 90%.

Ostatní celostátní tratě reprezentující 32% délky železniční sítě, se podílejí na dopravních výkonech nákladní dopravy 8%.

Regionální tratě reprezentující 41% délky železniční sítě, se podílejí na dopravních výkonech nákladní dopravy jen 2% (Pohl, 2016).

S příchodem rozvoje železničních tratí provázený budováním druhých kolejí a zvyšováním přepravní rychlosti na 160 km/h, resp. až 300 km/h bude potřeba opatřit



i odpovídající vozidla. Dosavadní vozidla z éry socialismu jsou již na prahu životnosti a jejich modernizace je často diskutabilní. Podpora nákupu nových naftových vozidel z prostředků OPD 2 je již velmi omezená, preferován je nákup moderních elektrických vozidel (Pohl, 2016).

### **Environmentální rizika výstavby VRT**

Ze zkušeností při budování liniových staveb se největší problémy při rozhodnutí o výstavbě VRT očekávají při posouzení vlivu koridoru na udržitelný rozvoj území (proces SEA v rámci pořizování územně-plánovací dokumentace) a při hodnocení vlivu stavby na životní prostředí (EIA). Za zásadní problém se uvádí vliv stavby VRT na okolí, zejména eliminace provozního hluku a vibrací, umístění liniové stavby v krajině a únosná eliminace přerušení přirozených cest a migračních tras živočichů. Proces EIA je upraven zákonem č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, v platném znění. Zásadním cílem obou procesů je posuzování možného působení koncepce, resp. stavby na životní prostředí a lidské zdraví.

V rámci formálního environmentálního procesu (SEA, EIA) je třeba dbát na dodržení požadavků všech složkových zákonů, směrnic a nařízení. Zvláštní pozornost je třeba věnovat eliminaci ovlivnění vodního režimu krajiny (požadavek rámcové směrnice o vodách) a eliminaci střetů s lokalitami soustavy Natura 2000 (MD ČR, 2017).

### **3.3 Migrace živočichů v okolí železnice**

Anděl a kol. (2011) popisuje migraci jako souhrnný pojem veškerých pohybů volně žijících živočichů v krajině. Prostor, ve kterém dochází ke křížení migrační trasy s komunikací nazýváme migrační profil.

Sklenička (2003) popsal migraci živočichů jako hromadný směrovaný pohyb velkého počtu jedinců daného druhu z jednoho místa na druhé.

Přítomnost zvěře v okolí železnice je závislá na okolních topologických podmínkách, okolní dřevinné skladbě, potravními zdroji v přilehlém okolí, aktuálních klimatických podmínkách a samotné síle populace divoké zvěře. Přerušením životního areálu a migračních koridorů divoké zvěře železnicí vede k výrazným dopadům na migraci zvěře (Davenport a kol., 2006, 2015; Forman a kol., 2003; van der Grift a kol., 1999). K největším počtům střetů dochází obvykle na úsecích, kde železniční tratě protínají migrační trasy a stanoviště zvěře (Child, 1983; Gundersen a Andreassen, 1998; van der Grift, 1999).

Většina dosud publikovaných studií se zaměřuje pouze na problematiku migrace velkých savců a opomíjí malé druhy (Dorsey a kol., 2015; Gundersen a Andreassen, 1998; Seiler a Helldin, 2006; van der Grift a kol., 1999). Ty, převážně obojživelníci, mají problém překonat past v podobě prostoru mezi kolejemi a umírají na následky dehydratace nebo hladu (Budzic a Budzic, 2014; Kornilev a kol., 2006). Navíc elektrifikované železnice představují podstatnou překážku při migraci ptáků, mnoho jich zahyne při úrazu elektrickým proudem z vedení (Dorsey a kol., 2015).

Migrace živočichů je závislá na ročním období a denním čase. Z několikaletého výzkumu nehod srnce obecného a jelena lesního v mírném klimatickém pásmu bez klimatických extrémů, patří k značně rizikovým měsícům říjen, listopad a květen. Největší pohyb zvěře v denním čase je v době ranního rozbřesku a večerního soumraku (Steiner a kol., 2014).

### 3.3.1 Mortalita živočichů způsobená střety s dopravními prostředky

Díky narůstající frekvenci provozu na dopravních komunikacích dochází k nárůstu střetů zvěře s dopravními prostředky.

Dle Kotláškové (2010) je střet se zvěří dopravní nehoda nezaviněná řidičem, při které dojde ke střetu vozidla se zvěří a při které zvěř nebo její část byla nalezena na místě dopravní nehody, případně v její blízkosti.

U železniční dopravy nejsou oproti silniční dopravě k dispozici kvalitní statistiky, kdy z konstrukce a velikosti železničního vozidla nemusí být samotný střet se zvěří obsluhou vůbec zaznamenány. Škody způsobené takovou srážkou jsou oproti silničnímu provozu na drážních vozidlech zanedbatelné. Obsluha není motivována tyto střety hlásit tak, jako motoristé v silničním provozu motivováni potřebou finanční náhrady pojišťovnou na dopravním prostředku.



Obr. č. 5: Lokomotiva řady 380.  
(autor ŠKODA TRANSPORTATION a.s., 2012)

Ojedinelou zmínkou v železniční literatuře jsou potíže u jedné z nejmodernějších lokomotiv řady 380 provozované v České Republice (Obr. č. 5). U této řady použité moderní konstrukční řešení v podobě dutých hřídelů dvojkolí vyrobených z kompozitového materiálu dochází k častému mechanickému poškození těchto hřídelů kameny ze šterkového lože, nebo kostí zvěře při sražení jedoucím vlakem. Toto poškození si vyžaduje vysoké náklady na výměnu poškozených hřídelů (Kuchta a Pernička, 2017).

### 3.3.2 Omezení dopadů

Na frekvenci přebíhání zvěře přes železniční trať má vliv řada faktorů, z nichž k nejvýznamnějším patří: charakter okolní krajiny a koncentrace savců v okolí, niveleta (výška) trati v kontextu ke geomorfologii okolního terénu. Velcí savci vbíhají na trať zpravidla v místech, kde je niveleta trati v úrovni okolního terénu. U nově vybudovaných železničních staveb dochází častěji k vběhnutí divoké zvěře na železniční svršek z důvodu potravních a migračních nároků (Kušta a Ježek, 2011).

Studie provedená v Norsku prokázala přínosnou úpravu vhodné druhové struktury vegetace a sečení v okolí dopravní infrastruktury k omezení aktivity zvěře v jejím těsném okolí (Jaren a kol., 1991; Adreasen a kol., 2005). Velká zvěř vnímá tuto mýtinu jako nebezpečnou (Jaren a kol., 1991) a dle pravidla „vidět a být viděn“ má zvěř i strojvedoucí dostatek času na sebe navzájem reagovat. Ale naproti tomu Yanes a kol. (1995) uvádí, že zároveň vzniká velké riziko vzniku bariéry pro malé obratlovce, kterým vzniklý otevřený prostor představuje vysoké riziko predace.

Kontrola populace s ohledem na množství jedinců by měla být prováděna u velmi běžných druhů tak, aby nedocházelo k nadměrnému přemnožení. Evropské myslivecké zvyky jsou v honbě za zachováním velkého počtu jedinců vysoké zvěře zvyklé k doplňkovému dokrmování divoké zvěře v měsících se špatnou dostupností přirozené potravy. Ze zkušeností ze Severní Ameriky dochází ke shlukování zvěře v okolí krmelců a tím o neúměrné přetížení nosné kapacity daného území. Proto doplňkové krmelce pro krmení v období omezené dostupnosti krmiva by měli být umístěny dostatečně daleko od železnice (Andreassen a kol., 2005; Wood a Wolfe, 1988; Kušta a kol., 2017).

### Technická opatření k zabránění vstupu zvěře do kolejiště:

#### *Trubní propustky*

Jde o malé trubní struktury primárně využívané k převedení vody z jedné strany liniové stavby na druhou (vodoteče, příkopy) se zachováním průtoku vody. Díky své velikosti je hojně využívají obojživelníci a plazy pro překonání liniových staveb (Glista a kol., 2009).

### *Skříňové propustky a mosty*

Stejně jako trubní propustky, se skříňové používají pro odvod vody, jsou ale podstatně větších rozměrů. Díky své velikosti mohou být snadno upraveny pro snadnější pohyb živočichů (Jackson a Griffin, 2000) instalací často dřevěné či kamenné římsy (Luell a kol., 2003). Modifikace propustků a prostoru pod mosty do funkce ekoduktů může (obr.č. 6) představovat nejúspornější opatření ke zmírnění úmrtnosti na železnici (Cevenger a Waltho, 1999).

### *Ekodukty*

Jde o velké stavební prvky, které mají při správném umístění primární cíl omezení bariérového efektu železnice, při zajištění konektivity v rámci okolní krajiny (Glista a kol., 2009; Jackson a Griffin, 2000; van der Ree a kol., 2008). Sekundárně úspěšně omezují střety zvěře s dopravním prostředkem, protože je zvěř z okolí naváděna na ekodukt pomocí oplocení liniové stavby. Zpravidla jde o sypané stavby s tunelovým profilem průjezdu, finančně často nákladné. Aby je využívalo rozmanité druhové složení živočichů, musí být správně zasazeny do krajiny a navrženy pro snadné překonání. Ekoduktem nemusí být pouze nadzemní mostní prvek, ale může jít i o podchody, které nejraději využívají drobní obojživelníci či plazy, například žáby nebo užovky.



Obr. č. 6: Železniční most vybavený římsou pro průchod osob a zvěře.  
(autor Petr Matějka, 2018)

### *Ploty*

Mají za úkol zabránit zvěři překonávat dopravní infrastrukturu v nebezpečných a nepřehledných úsecích a zároveň ji navést do míst, kde je zvěř při překonávání komunikace již z dálky vidět. Největší význam mají u velkých savců (Dole, 2004). Nevhodné použití oplocení u liniových staveb může zvýšit samotný bariérový efekt (Ito, 2013).

### *Elektrický ohradník*

Jde o málo viditelnou formu oplocení, kdy je v nevodivé pásce veden drátky elektrický proud. Neizoluje opticky trať od okolí, ale odradí zvěř od vstupu na koleje. Při použití elektrických ohradníků je problém zajistit zdroj elektrického proudu, dále je nutné pro zabezpečení okolí umístit v pravidelných intervalech varování o přítomnosti elektrického proudu v ohradníku (Lampman a Hazlerhust, 2012).

### *Protihlukové bariéry*

Primárním účelem je snížení hluku přenášeného do okolí železnice. Svou podobou několik metrů vysoké stěny představují významnou migrační bariéru. Pokud jsou vedeny po obou stranách kolejiště, mohou způsobit zvěři, která se mezi ně dostane, smrtelnou past. Z tohoto důvodu je potřebné instalovat protihlukové bariéry v širších souvislostech okolní krajiny a navést zvěř mimo jejich dosah. U protihlukových bariér tvořených skleněnou deskou je potřeba zabezpečit zvýraznění pro bezpečnou identifikaci ptactvem.

### *Pachové repelenty*

Dle Kušty a kol. (2015) jsou pachové repelenty tvořeny z chemické látky umístěné na nosičích, či přímo vegetaci v okolí železnice. V chemické látce repelentu je aplikován pach navozující pachy predátorů divoké zvěře. Cílem pachových repelentů je řídit pohyb zvěře směrem od železnice a zvýšit pozornost zvěře v jejím okolí. Tyto repelenty jsou účinné na velkou zvěř, účinnost na plazy a obojživelníky je minimální. Účinnost repelentů se rapidně snižuje s poklesem teploty prostředí. Z uvedených poznatků je aplikace pachových repelentů pro spolehlivé vedení pohybu zvěře krajinou diskutabilní.

### *Zvuková signalizace*

Zdroj zvuku je umístěn buď na stabilním místě u liniové stavby, nebo na vozidle. Dle studie provedené v Kanadě došlo při vybavení vlaků ultrazvukovým varováním ke snížení smrtelných kolizí se zvěří (Muzzi a Bisset, 1990). Babinská-Werka a kol. (2015) provedli studii, při které nebylo zaznamenáno navyknutí zvěře na použití zvukové signalizace pro odehnání zvěře z okolí tratě.

Poslední studie na využití zvukové signalizace k odehnání divoké zvěře od projíždějícího vlaku byla provedena v loňském roce v Japonsku výzkumným železničním institutem RTRI. Zde na základě počítačové analýzy došlo k vytipování sledovaného území s vysokým výskytem srážek divoké zvěře s vlaky. Výsledkem sledování bylo vytvoření zvukové signalizace v podobě vyslání sekvence zvuku: 3 sekundy „štěkot“ jelena a 20 sekund štěkot psa. První zvuk je pro upoutání pozornosti zvěře, následný odežene zvěř z kolejí. Výsledkem studie je snížení registrovaného počtu srážek o 40% (Shimura a kol., 2017).

### **3.3.3 Metody pro sledování pohybu a úmrtnosti volně žijících živočichů**

Sledování pohybu zvěře v krajině jsou stejně staré jako lidstvo samo. První techniky stopování vznikly v potřebě sledování pohybu zvěře při honbě za získáním potravy. Základní technikou je sledování pobytových znaků divoké zvěře. Jako pobytové znaky vnímáme stopy, vychozené stezky, úkryty, zbytky potravy, trus, trsy srsti, parohy a jiné. Pozorování pobytových znaků je silně závislé na klimatických podmínkách v době sledování. Ve vlhkém počasí zvěř snadno zanechá stopy v blátě, oproti promrzlé půdě v zimě. Pokud nejsou v místě sledování pohybu zvěře vhodné podmínky, lze využít uměle vytvořenou plochu (např. uhlazený písek). V dnešní době lze sledování předem vytipovaných míst snadno realizovat s využitím fotopastí. Jde o elektronické zařízení s možností lokálního záznamu i dálkového přenosu obrazu (fotografie, videa). Jejich provedení je optimalizované pro nenápadné umístění ve vegetaci. K nevýhodám fotopastí patří nutnost napájení elektrickým proudem (baterie, akumulátory) a riziko odcizení.

Sledování pohybu divoké zvěře v krajině je velice důležité, mělo by být v ideálním případě realizováno vždy před výstavbou nové infrastruktury. Je důležité sledovat nejen přímé dopady, ale i druhovou bohatost a četnost, pro zaznamenání základního stavu (Grift a kol., 2013). To je velice důležité v případě, že železniční infrastruktura prochází přes chráněné krajinné oblasti obsahující několik rozmanitých ekosystémů (Dorsey a kol., 2015). Po výstavbě dopravní infrastruktury by měl vzniknout monitorovací plán s cílem vyhodnotit dopady výstavby na kolize, úrazy elektrickým proudem, využití přechodů a propustků (Luell a kol., 2003; van der Grift a kol., 2013).

Z ekonomického a časového hlediska je sledování veškerých zastoupených druhů nereálné (Rytwinski a kol., 2015; van der Grift a kol., 2013).

Roedenbeck a kol. (2007) navrhuje plán sledování složený ze čtyř fází:

- výběr cílových druhů;
- časový horizont provedení sledování;
- volba metod pro odhad úmrtnosti;
- standardizaci proměnných ovlivňujících úmrtnost volně žijících živočichů tak, aby bylo sledování snadno opakovatelné a porovnatelné.

Pro dosažení těchto cílů je prvořadá spolupráce mezi zaměstnanci železnice, zúčastněnými stranami a pracovníky výzkumu sledování divoké zvěře ve všech fázích stanoveného monitorovacího plánu (Luell a kol., 2013; Roedenbeck a kol., 2007).

Z informací získaných od zaměstnanců Českých Drah dochází ke kolizím se zvěří nejčastěji v otevřené krajině během svítání, soumraku a noci (Kušta a kol., 2017).

Jako ideální volba druhu pro sledování se jeví velcí savci. Při svém pohybu krajinou zanechávají výrazné pobytové znaky s velkou šancí detekce. Sledování v okolí železnice je oproti silnici ztížené horší dostupností kolejového svršku, který je většinou veden topologicky náročnou krajinou bez snadného přístupu pomocí dostupných cest (Dorsey, 2011).

Na základě zvolených druhů pro sledování dojde ke stanovení časového horizontu sledování (van der Grift a kol., 2013). Jiné potřeby sledování bude mít velká zvěř, ptáci nebo obojživelníci.

Ze zkušeností uskutečněných sledování se jeví jako nejvhodnější terénní průzkum v časných ranních hodinách vedený dvěma zkušenými pozorovateli, po jednom na každé straně kolejového svršku (Peña a Llama, 1997). Ty během svého pohybu podél železnice pokryjí bez problému 10 m pás na každou stranu. Z bezpečnostních důvodů je potřeba před sledováním nastudovat časový plán provozu na monitorované železnici a využít výrazného bezpečného oblečení. Pro každý nález je optimální zaznamenat minimálně tyto údaje: druh, věk, pohlaví, GPS souřadnice, čas, povětrnostní podmínky a polohu k železnici (Santos a kol., 2011; Wells a kol., 1999). Doplnění těchto pracovníků terénního průzkumu o vycvičené psi se ukázalo jako vysoce účinné (Mathews a kol., 2013).

Za vhodnou přímou metodu sledování pohybu zvěře v okolí dopravní infrastruktury lze považovat vytvoření plochy skládající se z vrstvy jemného písku o hloubce 3–30 mm upravené do hladka. Takto provedený povrch je vhodný i k detekci stop malých obojživelníků, či dokonce bezobratlých. Revize tohoto pásu by měla probíhat v intervalu 1–2 dny (Yanes a kol., 1995; Rodríguez a kol., 1996; Baofa a kol., 2006). Díky nízkým nákladům na realizaci vychází tato metoda jako vysoce efektivní pro krátkodobý průzkum než moderní metody založené na videozáznamu. Jediné omezení představuje počasí v době sledování (Ford a kol., 2009; Mateus a kol., 2011).

Neméně důležitým faktorem při sběru dat je samotná motivace pozorovatelů k odvedení kvalitní práce. Výsledek pozorování je dále ovlivněn barvou použitého štěrku kolejového lože, příkrostití přilehlých břehů, vegetací ve sledované oblasti a počasím v době průzkumu (Mathews a kol., 2013).

Santos a kol. (2011) prokázali, že drobní živočichové přetrvávají v místě střetu maximálně 1 den (60%), naproti tomu větší zvířata i více než dva dny. Luell a kol. (2003) shledává dobu sledování po výstavbě nové železnice po dobu 3 let jako optimální.

Vyhodnocení nejvíce aktivních oblastí výskytu a úmrtnosti zvěře (tzv. hotspot) je ideální provést s mapováním pomocí počítačových nástrojů. Pomocí těchto nástrojů dojde k vyhodnocení nejrizikovějších oblastí, kde by mělo být následně uplatněno opatření ke zmírnění (Costa a kol., 2015). Počítačovou analýzou ideálního vzorku získaných dat se účinně eliminuje selhání pozorovatelů.

### **3.4 Počítačové modelování v krajině**

Počátky oboru sahají do 60. let 20. století do severoamerického kontinentu. Zde bylo počítačové modelování prvně popsáno a použito Ian McHargem (1920-1981) k modelování využití krajiny. Této činnosti se věnoval jako profesor po celou dobu v rámci Pennsylvánské univerzity. Díky své vědecké činnosti je označován za „otce“ geografických informačních systémů. Ve stejném období vzniká v Kalifornii prvotně konzultační společnost ESRI, která roku 1982 vydává první verzi svého geografického informačního systému ArcInfo. Rozvoj těchto geografických informačních systémů jde souběžně s nástupem a vývojem počítačů. V dnešních dnech se ustupuje od lokálních instalací na pevných pracovních stanicích, instalace se používá serverová s přístupem přes internet s využitím přístupu přes mobilní zařízení jako mobilní telefony, tablety nebo notebooky. Zpracování dat může probíhat v reálném čase.

#### **3.4.1 Geografické informační systémy (GIS)**

GIS systém popisuje reálný stav za pomoci prostorových dat. Jde o organizovaný soubor hardware, software a geografických údajů navržených pro efektivní získání, ukládání, upravování, obhospodařování, zobrazení a analyzování veškerých forem geografických informací (obr. č. 7).

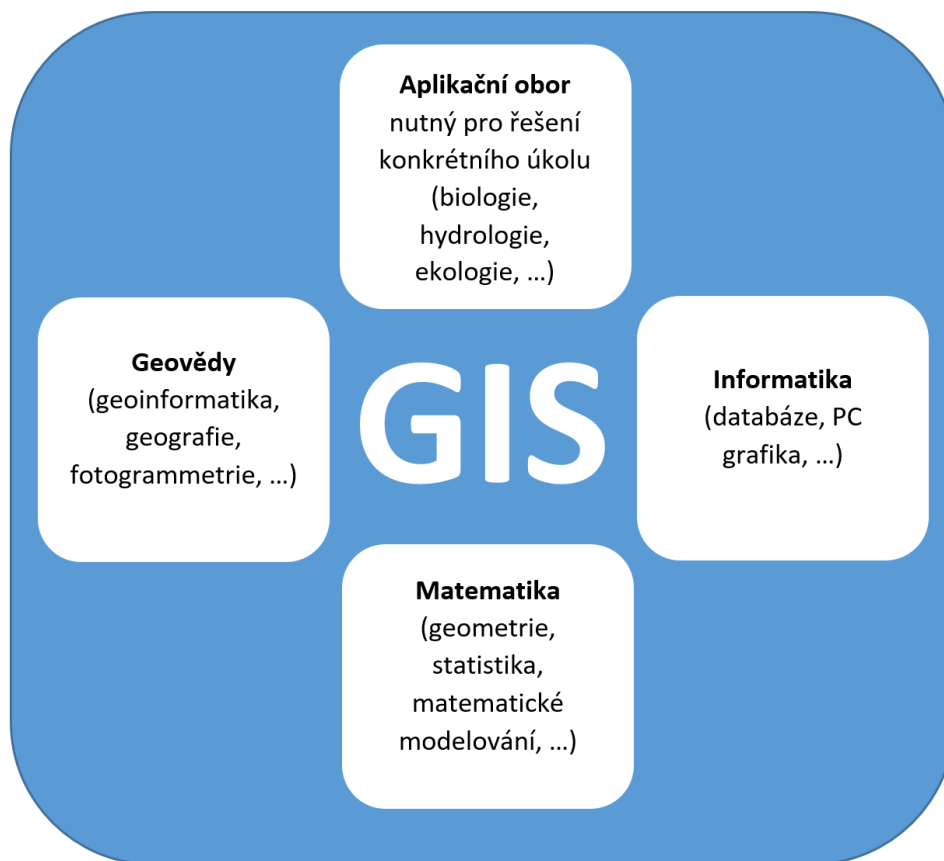
GIS systémy mají za úkol sběr a správu prostorově orientovaných dat. Obsahují nástroje pro jejich analýzu a grafické zobrazení požadovaných výsledků. Pro ukládání vstupních dat je využívána databáze, do které se lze pomocí definovatelných dotazů dotazovat. Z výsledků dotazů vzniká výsledná analýza. Výstupem GIS systému může být mapový podklad, 3D model, popřípadě dynamické zpracování konkrétního stavu v podobě animace.

GIS systémy využíváme při zpracování informací z oblastí kartografie, přírodního prostředí, ekologie, přírodních zdrojů, územní plánování, státní správě, zdravotnictví a školství.

Výstupy z GIS systémů můžeme využít k:

- vizualizaci;
- získání a sdílení informací;
- analytické využití.





Obr. č. 7: GIS a vztahy mezi obory.  
(autor Matějka, 2017)

Informace ukládané do GIS jsou reprezentovány prostorovou a atributovou částí. Prostorová informace sděluje zaznamenanou geografickou polohu, atributová nám podává informace, vlastnosti v širším okolním kontextu. Takto zaznamenaná data jsou uložena v tematické databázi pro archivování informací a případné analytické vyhodnocení. Zobrazení dat z těchto databází je ve vrstvách, které nám umožňují překrývání dat pro další zpracování.

GIS systémy pracují s vektorovými a rastrovými datovými typy dat. Vektorový typ reprezentují body (jednoduché objekty popsatelné pouze souřadnicí), linie (objekty s určitou délkou, ale minimální plochou) a plochy (rozsáhlá území). Rastrový typ je většinou v podobě leteckého/družicového snímku, či skenu. Vektorový typ je pro počítačové zpracování nejvhodnější. Toto zpracování probíhá na základě jednoduchých matematických výpočtů v rámci použité databáze. Změna měřítka (rozišení) nemá žádný vliv na zpracovávaná data. Naopak u rastrového typu je podstatné prvotní rozlišení zdrojových dat. Pro co nejlepší výsledek je potřebné co nejvyšší rozlišení. Existují různé interpolační metody pro zvýšení rozlišení rastrových dat pro následná zpracování. Takto interpolovaná data získala nepřesnost interpolací, kterou si nesou do následného matematického zpracování a samotného výsledku.

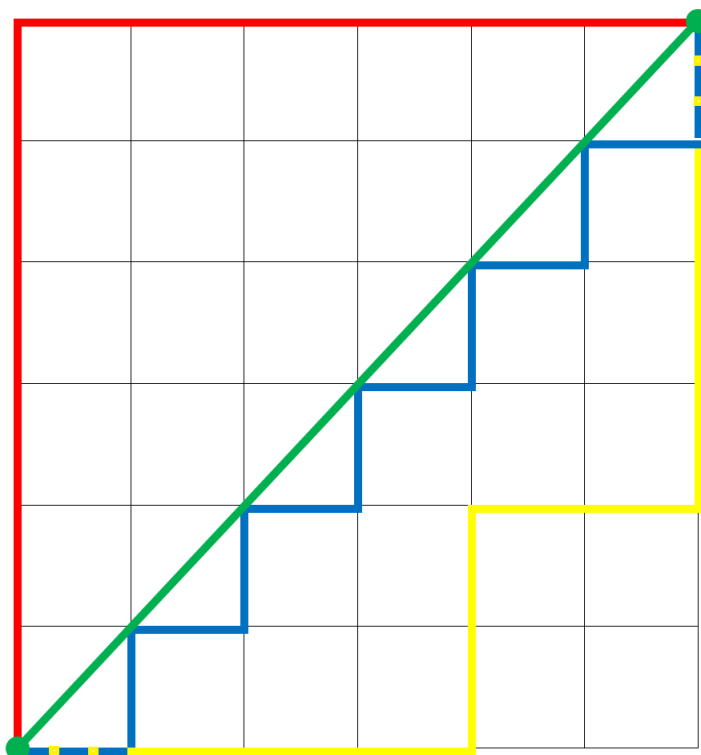
### 3.4.2 Prostorová analýza

Jde o techniku studující subjekty, která používá jejich topologické, geometrické, nebo geografické vlastnosti. Prostorová analýza zahrnuje značnou řadu technik s využitím různých analytických postupů a algoritmů. Během procesu prostorové analýzy jsou řešeny různorodé problémy jak ve stádiu definice předmětu studie, při konstrukci analytických operací a při prezentaci analytických výsledků.

Hlavní typy používaných metod prostorové analýzy:

- statistické prostorové analýzy dat;
- mapová analýza;
- interpolační metody;
- lokalizační a alokační metody;
- matematické modelování.

Vyhodnocení dat je založeno na matematickém geografickém prostoru. Jde o tzv. manhattanský počítačový model zpracování dat v prostoru (obr. č. 8), který je využíván pro zpracování velkého objemu vektorových dat. Oproti tradičnímu euklidovskému řešení vykazuje značnou úsporu času výpočetního výkonu při zpracování matematických analýz.



Obr. č. 8: Rozdíl mezi manhattanským (červená, modrá, žlutá – vždy stejná vzdálenost) a euklidovským (zelená) zpracováním dat.  
(autor Matějka, 2018)

Prostorové dotazy při analýze dat se dotazují na prostorové vlastnosti a vztahy geografických dat.

Forma dotazování má podobu:

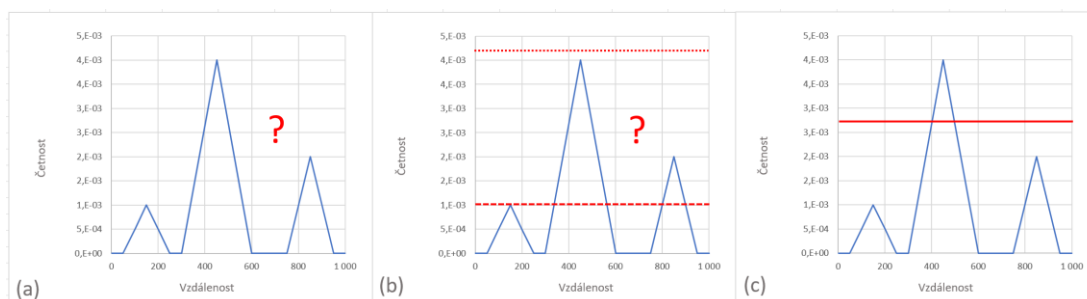
- zadáním, nebo zvolením (kliknutí myši) souřadnic;
- prohledáním okolí prvku pomocí podmíněčných dotazů s využitím logických operátorů;
- omezením dotazovaných atributů prvku.

Často používané podmínky pro prostorové dotazování:

- průnik (překryv);
- dotyk (bodem, linií);
- obsahují (v prvku, v oblasti prvku);
- rovnají se;
- jsou v určité vzdálenosti od prvku.

### 3.4.3 Metoda odhadu hustoty jádra

Metoda odhadu hustoty jádra (kernel density estimation – KDE) je často využívána k identifikaci polohy klastru v rámci dopravní infrastruktury (Plug a kol., 2011). Metoda je založena na odhadu hustoty pravděpodobnosti funkce podkladových dat (Obr. 9a). Takto získané výsledky jsou však silně ovlivněny subjektivním nastavením plochy předmětu výpočtu a velikostí zobrazovaného rastru. Největším úskalím při použití metody KDE je správné zvolení prahových hodnot. Proto se můžeme ve výsledku setkat s místem, ve kterém jsou blízko sebe vyhodnocena výsledná místa v těsném sousedství místního maxima (správně by mělo dojít k spojení těchto míst do jednoho významného), popř. může dojít k vynechání významných míst nastavením příliš vysoké prahové hodnoty (Obr. 9b). Z tohoto důvodu vznikla upravená metoda KDE+, která objektivně určuje význam klastrů pomocí statistické metody Monte Carlo a objektivně umožní vyhodnotit zpracovaná data. Vnesením této statistické funkce do původní metody odhadu hustoty jádra umožní identifikaci prahové hodnoty (Obr. 9c).



Obr. č. 9: a) zdrojová data, b) chybné vyhodnocení KDE, C) Výsledek KDE+ .  
(autor Matějka, 2018)

Síla hustoty zpracovaných dat je relativní mírou toho, kolik je nulová hypotéza zpracovaných dat rovnoměrně rozložených podél linie. Velikost plochy závisí na celkovém počtu zpracovaných dat na konkrétní linii a na jejich vzájemném postavení. Použitím tohoto postupu jsou získaná výsledná data objektivní a umožní se zaměřit pouze na velmi významná místa (Bíl a kol., 2013).

## 4. Metodika

Metodika je rozdělena do několika částí, ve kterých je postupně řešena každá fáze analýzy. Prvně jde o popis získaných dat střetů se zvěří, následuje analýza dat o kolizích v blízkosti železnice, souběžnou délku úseků železnic a silnic a prostorové zobrazení s použitím GIS modelování.

Pro zobrazení dat v GIS analýzách bylo použito souřadnicového systému S-JTSK Krovak EastNorth.

Veškeré analýzy byly provedeny v software ArcGIS pod studentskou licencí ČZU.

### 4.1 Použitá data

S ohledem na neexistenci kvalitní databáze obsahující přímé kolize drážních vozidel se zvěří bylo zvoleno řešení, oslovit webové stránky [www.srazenazver.cz](http://www.srazenazver.cz) pro získání potřebných dat.

Majitelem tohoto webového projektu je Centrum dopravního výzkumu (CDV) a má za cíl shromáždit a zobrazit na jednom místě údaje výskytu sražené zvěře. Web pracuje s dvěma zdroji dat.

První zobrazovaná data jsou od uživatelů internetu, kdy pro registraci do webových stránek je umožněno vkládání záznamů široké veřejnosti.

Při zadání srážky je možné zadat tyto údaje:

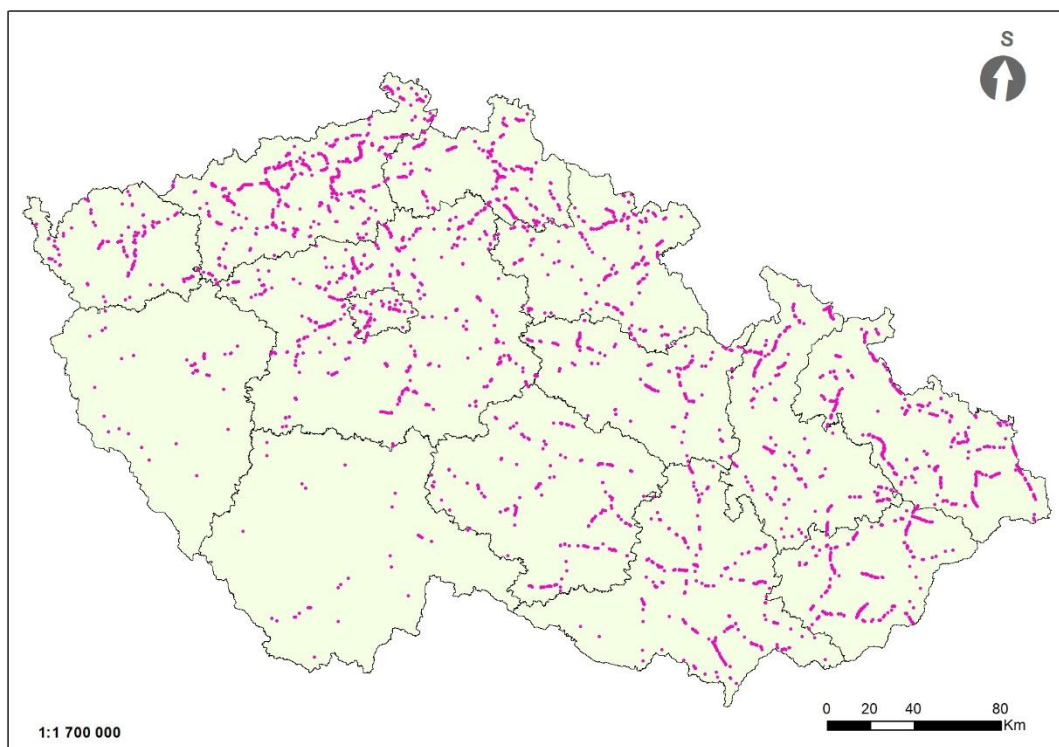
- druh zvěře;
- pohlaví;
- polohu v mapě;
- následky;
- detail (silnice/železnice/mimo infrastrukturu);
- datum a čas nálezu;
- datum a čas srážky;
- poznámka;
- fotografie.

Kvalita záznamu je silně ovlivněna pečlivostí uživatele při vkládání záznamů do databáze.

Druhá používaná data pochází ze záznamů Policie ČR při zpracování dopravních nehod. Tyto záznamy obsahují přesně zaměřené souřadnice srážky.

Pro zpracovávanou analýzu se mi podařilo zajistit soubor záznamů Policie ČR od 1. ledna 2011 do 31. ledna 2018 ve vzdálenosti 200 m od železnice (Obr. č. 10). Získaná data obsahují pouze datum a místo srážky bez dalších atributů. Ze zkušeností z CDV jsou data od Policie ČR pro prostorovou analýzu vhodnější s ohledem na přesné zaměření střetů se zvěří v souřadnicovém systému.

Poskytnutý soubor dat obsahuje záznamy z Jihočeského a Plzeňského kraje v minimálním množství z důvodu rozdílné evidence srážek v rámci těchto krajů.



Obr. č. 10: Vyobrazení získaných záznamů nehod se zvěří.  
(autor Petr Matějka, 2018)

## 4.2 Analýza dat

Základním výstupem analýzy dat je určení hustoty nehod v blízkosti železnice. Pro analýzu byla stanovena jako ještě relevantní vzdálenost dopravní nehody se zvěří ve vzdálenosti 200m od železnice s ohledem na získaná data. Při tvorbě výsledné mapy rizikových míst – hot spot, je využito nástroje KDE+, která již zahrnuje statistickou analýzu a optimálně pracuje s nastavením rastru. Výsledkem funkce je pouze vizuální zobrazení hotspotů. Pro následné analýzy je potřeba tato místa převést do bodového vektorového zobrazení. Výsledné hotspoty budou zařazeny do pěti kategorií významnosti za pomoci vhodného nástroje v ArcGIS.

### 4.2.1 Identifikace souběžných bariér

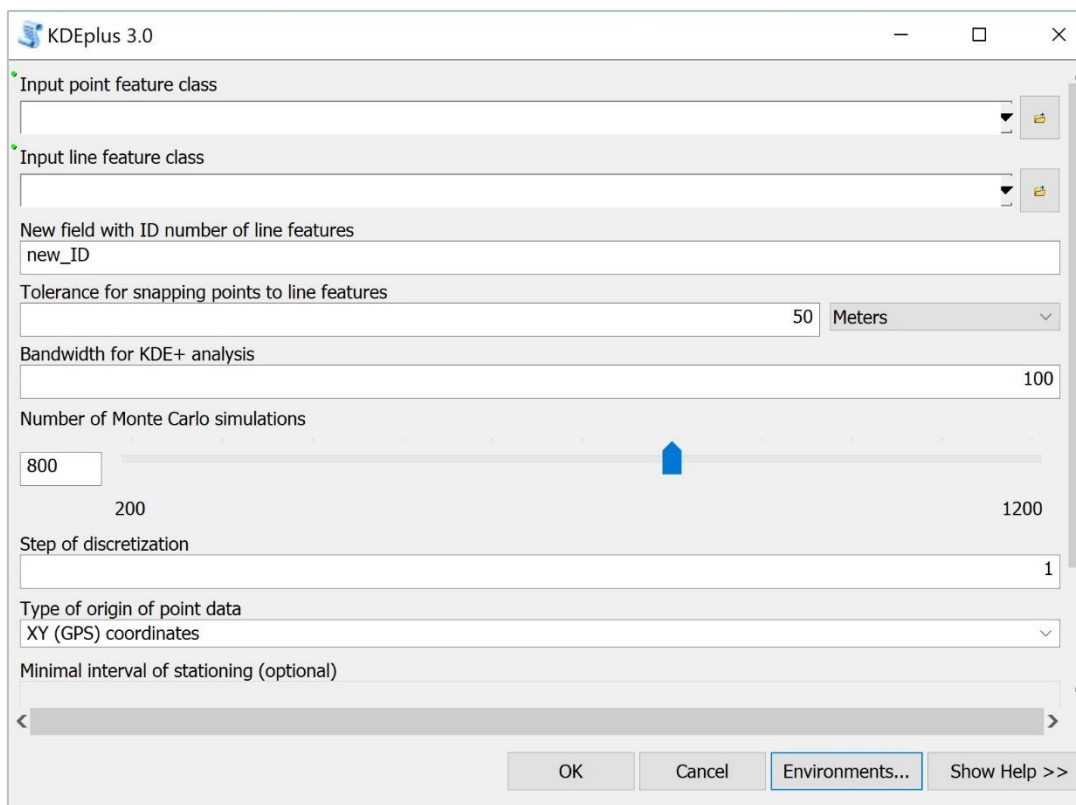
Analýza je zaměřena na vytipování souběžných bariér tvořených železnicí a pozemní komunikací. S ohledem na získaná data analýzy je zvolena vzdálenost 200m na každou stranu od kolejového vedení. Výsledek této analýzy je dále aplikován na získané hotspoty pro stanovení nejrizikovějších míst se souběžnou bariérou dopravních liniových staveb.

## 4.2.2 Širší vztahy

Na vzniklé databázi získaných záznamů hotspotů, dojde k propojení s daty o využití krajiny, informaci o železnici a době vzniků srážek ve vzdálenosti 200m od centra hotspotů. Na takto sestavené databázi bude provedena analýza pro zjištění dalších souvislostí – např. obdobné využití krajiny, získání nejrizikovější doby nehod, vliv třídy komunikace a vliv na chráněná území či migrační koridory ČR.

## 4.2.3 Statistické testování

Statistika zahrnuje metodu Monte Carlo využitou při analýze hotspotů v nástrojích KDE+ (obr.č. 11). Základní myšlenkou metody je určení střední hodnoty veličiny, která je výsledkem náhodného děje z dostatečného počtu počítačových simulací vstupních dat. Přesnost stanovení střední hodnoty je tak přímo závislá na vstupních datech a počtech opakování simulací. Pro analýzu hotspotů je ponecháno základní nastavení 800 simulací metody Monte Carlo v nástroji KDE+ (Bíl a kol., 2016).



Obr. č. 11: Pracovní prostředí nástroje KDE+ v programu ArcGIS.  
(autor Petr Matějka, 2018)

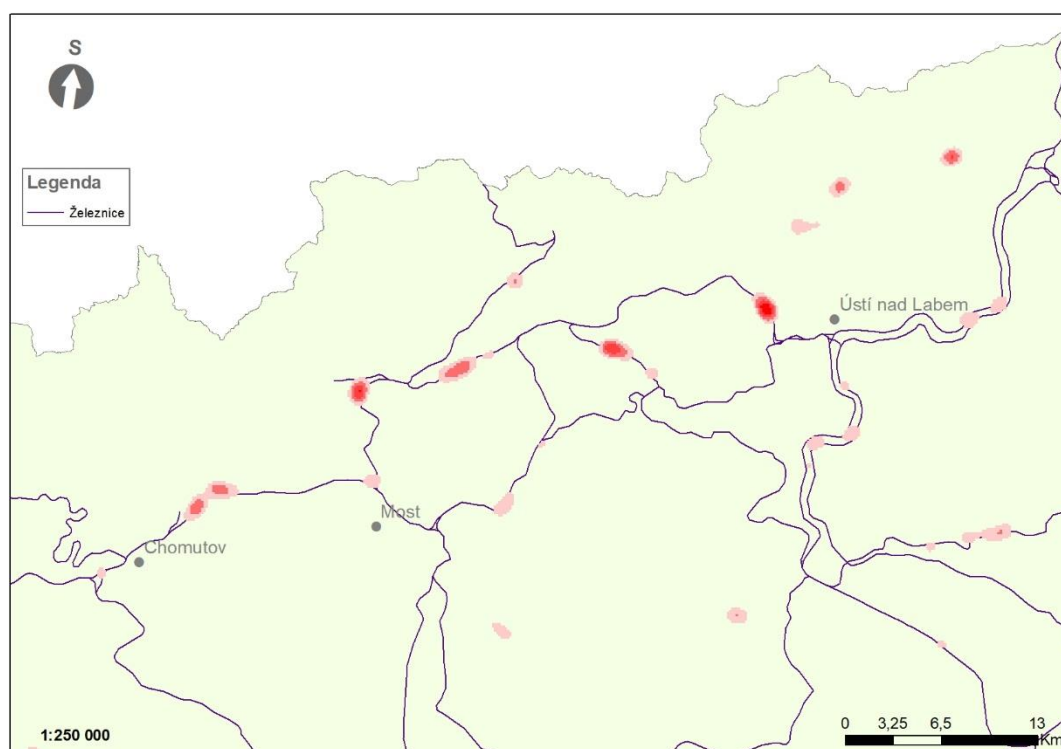
## 5. Výsledky

### 5.1 Analýza dat pro získání hot spot

Analýza byla provedena na veškerých získaných záznamech nehod s volně žijící zvěří od 1. ledna 2011 do 31. ledna 2018. Nastavením zobrazení vhodné intenzity výsledku metody KDE+ do pěti kategorií byl získán celkový výsledek vyhodnocených hotspotů (Obr. č. 12). Takto získaný výsledek byl označen do nové vrstvy s označením jednotlivých hotspotů a zařazením do 5ti kategorií významnosti. (Obr. č. 14).

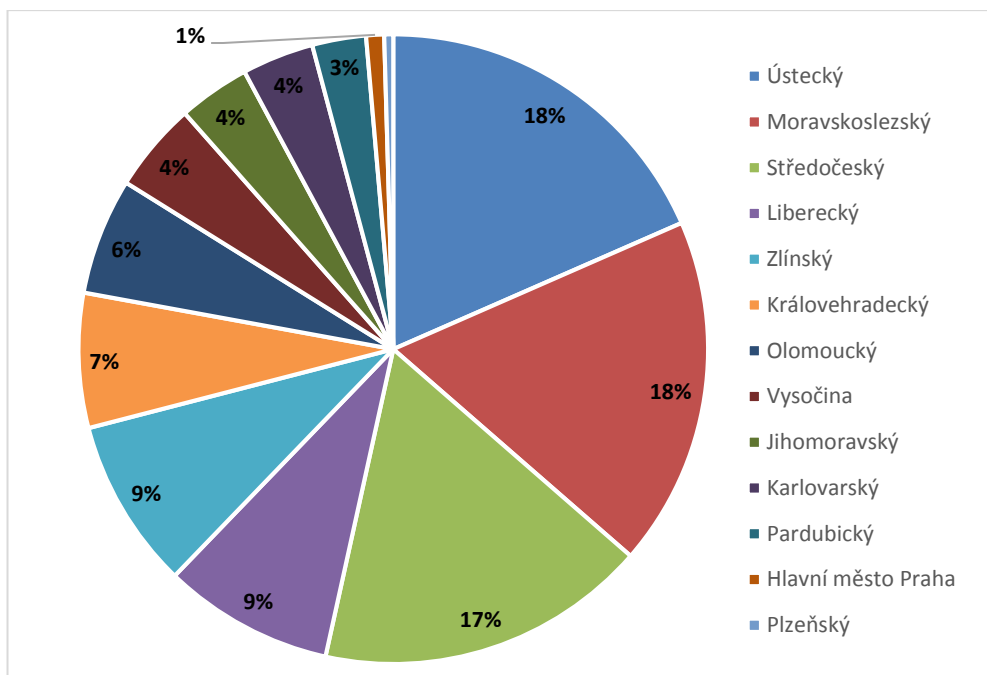
Nejvíce rizikových míst bylo vyhodnoceno v ústeckém, moravskoslezském a střeďočeském kraji (53% z celkového počtu nehod). Rozložení významnosti okresů na množství rizikových míst je na obrázku č. 13. Celkové počty rizikových míst v jednotlivých krajích shrnuje tabulka č. 4.

Podrobné vyobrazení výsledku KDE+ a zaznamenaných hotspotů po jednotlivých krajích je v příloze č. 1.



Obr. č. 12: Výsledné hotspoty v ústeckém kraji funkcí KDE+.  
(autor Petr Matějka, 2018)



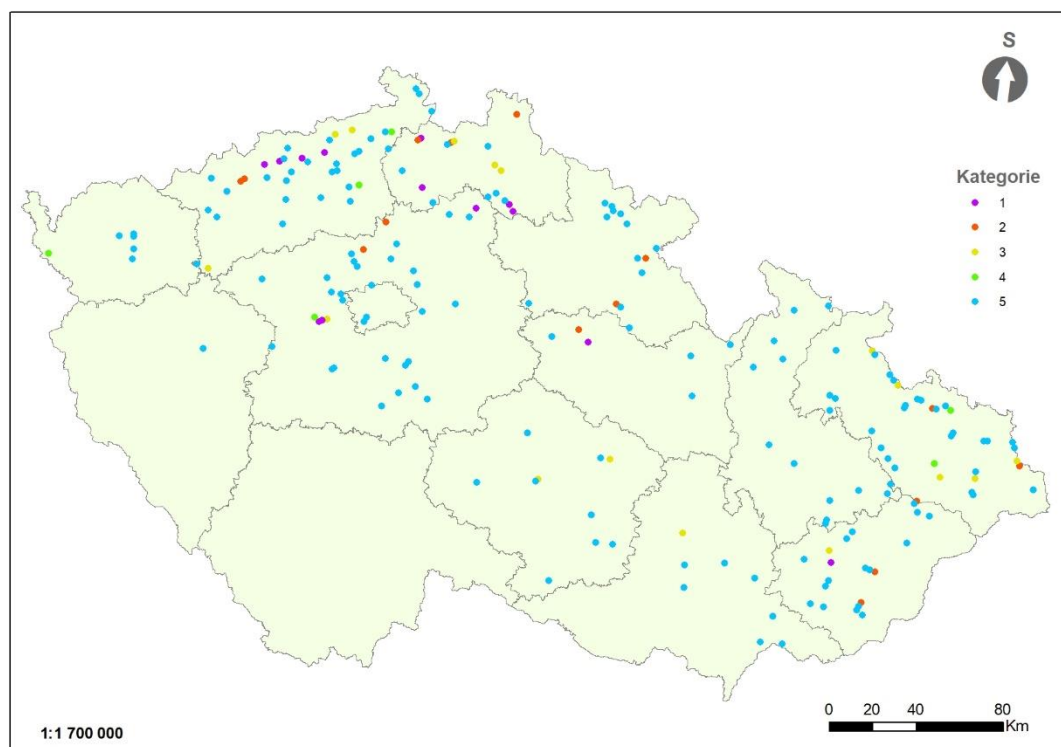


Obr. č. 13: Graf zastoupení hotspotů v krajích.  
(autor Petr Matějka, 2018)

Z důvodu rozdílného přístupu k evidenci střetů zvěře v Jihočeském kraji není kraj ve výsledcích zastoupen. Stejný důvod má nízké zastoupení Plzeňského kraje.

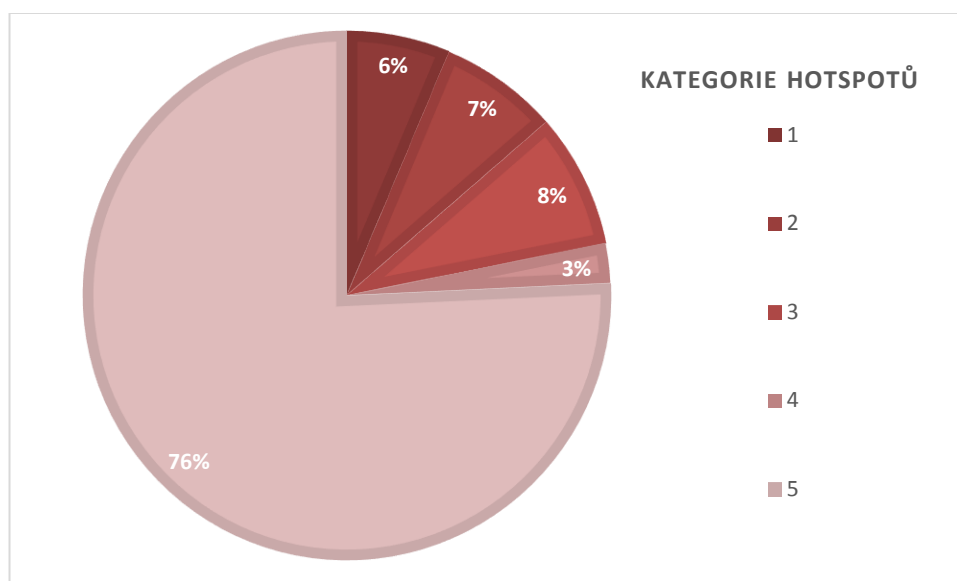
Ústecký	40
Moravskoslezský	39
Středočeský	37
Liberecký	19
Zlínský	19
Královehradecký	15
Olomoucký	13
Vysočina	10
Jihomoravský	8
Karlovarský	8
Pardubický	6
Hlavní město Praha	2
Plzeňský	1

Tab. č. 4: Počet hotspotů v jednotlivých krajích.  
(autor Petr Matějka, 2018)



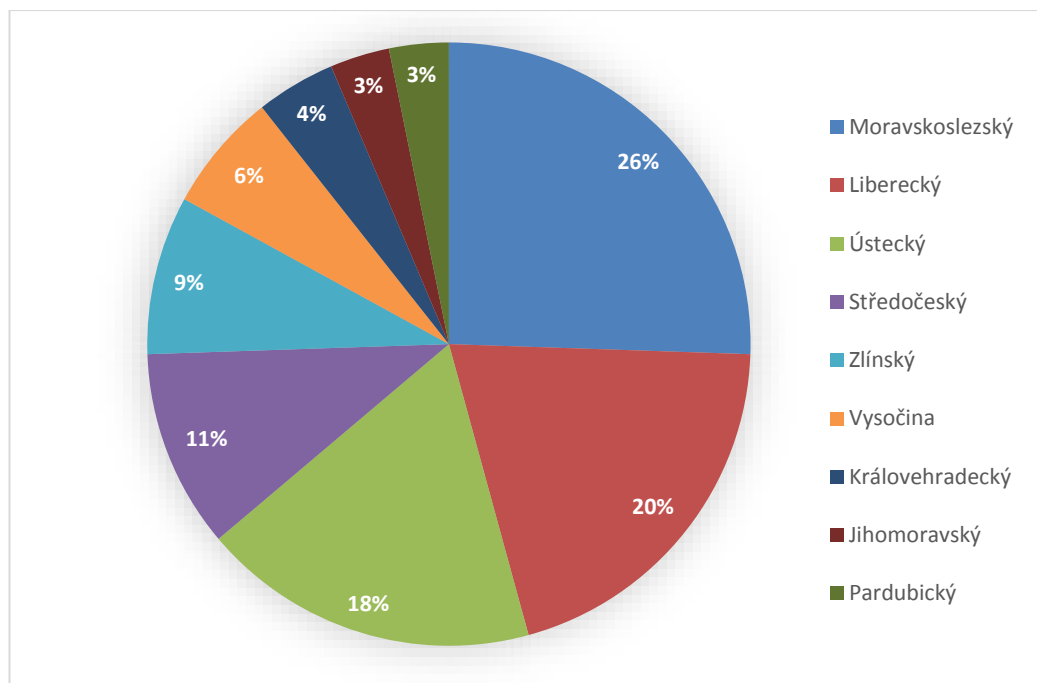
Obr. č. 14: Výsledné hotspoty dle významnosti (1 – nejvýznamnější).  
(autor Petr Matějka, 2018)

Celkový počet hotspotů v jednotlivých kategoriích zobrazuje graf na obrázku č. 15. Nejvýznamnější kategorie nejrizikovějších hotspotů je zastoupena 6% a hotspoty s nejmenším rizikem jsou zastoupeny 76%.



Obr. č. 15: Graf zastoupení jednotlivých kategorií hotspotů.  
(autor Petr Matějka, 2018)

Při uvažování první, druhé a třetí kategorie hotspotů, u které je výsledek intenzity srážek funkce KDE+ největší, vychází nejrizikovějším kraj moravskoslezský, liberecký a ústecký. Z tohoto hodnocení se úplně vytratí Plzeňský kraj a kraj Hlavní město Praha.



Obr. č. 16: Graf zastoupení hotspotů kategorie 1 až 3 v krajích.  
(autor Petr Matějka, 2018)

### 5.1.1 Identifikace souběžných bariér

Analýzou vrstev liniových staveb došlo k vyhodnocení celkové vzdálenosti 4059,6km souběžné železnice se silnicí (obr. č. 17).

Z této vzdálenosti připadá na jednokolejné tratě 3215,7 km, dvoukolejné tratě 823km a tříkolejné 20,9km.

Z toho elektrifikovaných tratí je 1252,7km a neelektrifikovaných 2806,9km.

Zastoupení jednotlivých tříd silnic tvořících společnou migrační bariéru je v tabulce č. 5. Z tabulky je patrné, že nejvíce tvoří společnou migrační bariéru silnice páté třídy s celkovou délkou 1207km z celkových 2910,3km silnic.



Obr. č. 17: Zobrazení souběžných liniových staveb na Praze Západ.  
(autor Petr Matějka, 2018)

Třída silnice 1	27,8km
Třída silnice 2	25,7km
Třída silnice 3	680,3km
Třída silnice 4	929,6km
Třída silnice 5	1207,6km
Třída silnice 6	39,3km

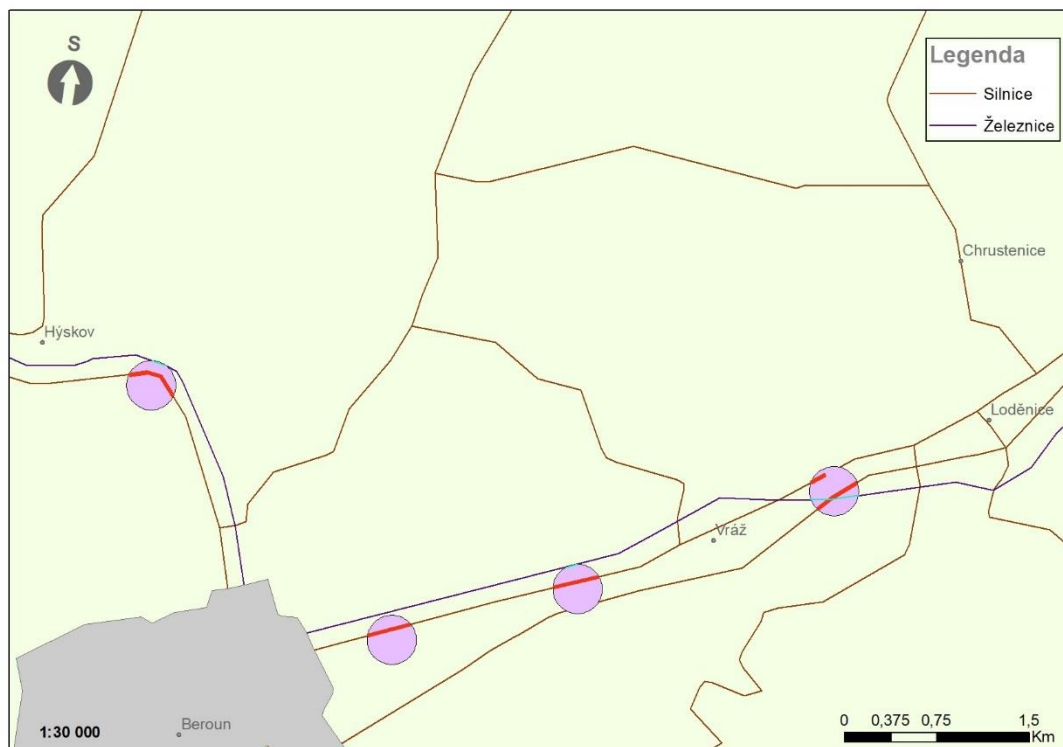
Tab. č. 5: Délka silnic tvořících souběžnou bariéru dle třídy.

(autor Petr Matějka, 2018)

V hodnoceném okolí 200m od centra hotspotů bylo vyhodnoceno zastoupení souběžných liniových staveb o celkové délce 51,5km železnice a 54km silnic. To tvoří zanedbatelnou část z v předešlé kapitole vyhodnocených vzdáleností liniových staveb (1,3% u železnice, 1,9% u silnic).

Pokud ale uvažujeme celkově vyhodnocených 217 hotspotů a idealizujeme hodnocený průměr okolí hotspotu na možnou délku 400m liniové stavby vychází nám délka těchto staveb na 86,8km v celkovém počtu hotspotů. Tímto pohledem se již

zastoupení železnice 51,5km a 54km silnic jeví svou délkou jako podstatné (téměř 61% délky).

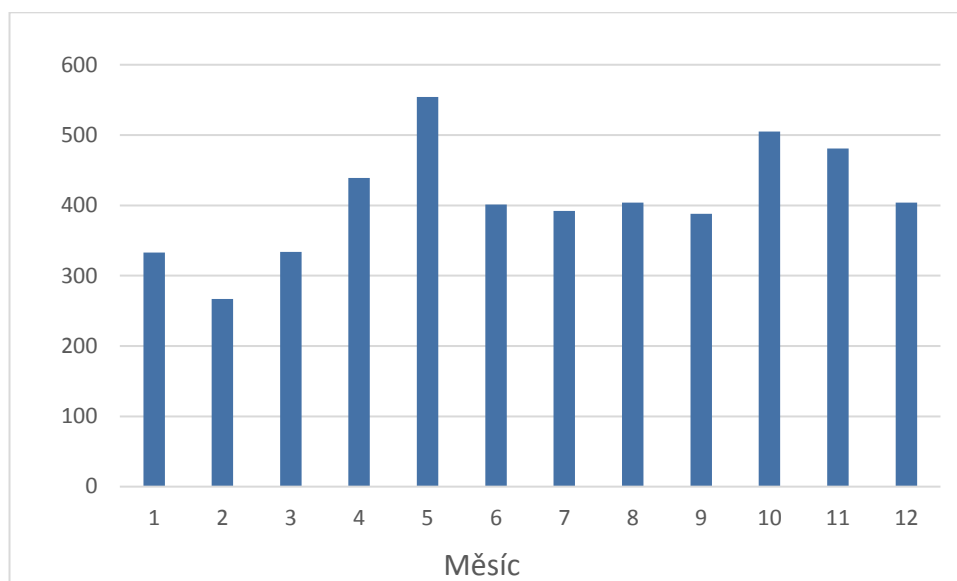


Obr. č. 18: Ovlivněné silnice a železnice v hotspotech nad Berounem, Středočeský kraj.  
(autor Petr Matějka, 2018)

### 5.1.2 Širší vztahy

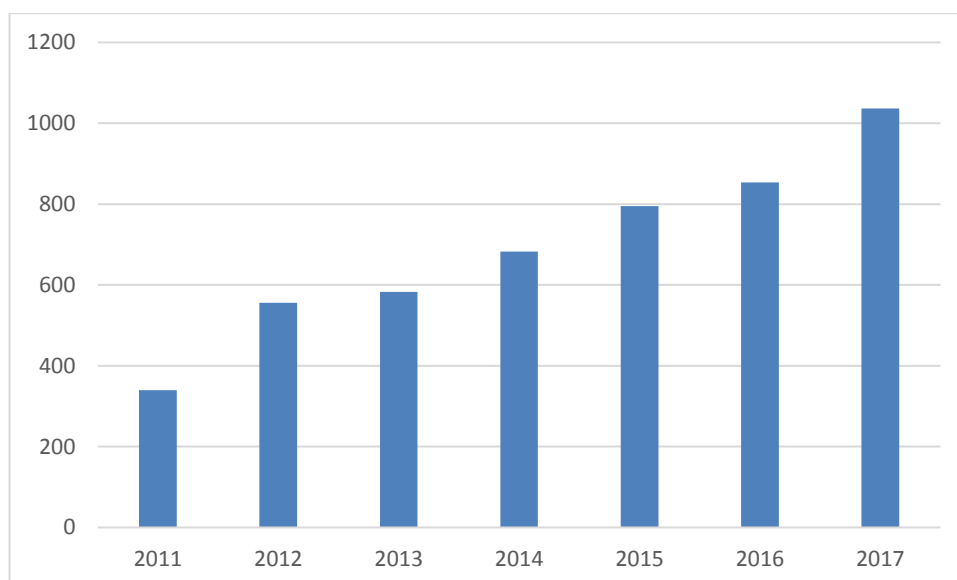
#### Časový rámeček vzniku nehod

Z hlediska časového rozložení nehod v jednotlivých měsících dochází k nejvíce nehodám v měsících květen, říjen a listopad (Obr. č. 19). Vzestup nehod v měsíci květen lze připsat příchodu nově narozených mláďat, které nejsou ještě adaptovány na okolní krajinu a nemají tím dostatečné zkušenosti s přechodem přes dopravní liniové stavby. Naopak měsíc říjen a listopad jsou spojeny s příchodem říje a hledáním míst s dostatečnou potravou a vhodným úkrytem před příchodem zimy. Nehody v ostatních měsících budou způsobeny migrací zvěře v dané oblasti způsobené jinými vlivy. Mezi ně může patřit zemědělská sezonní činnost, turismus, výstavba nových liniových staveb, reakce na aktuální změnu klimatu, dostupnost zdroje vody a další možné vlivy.



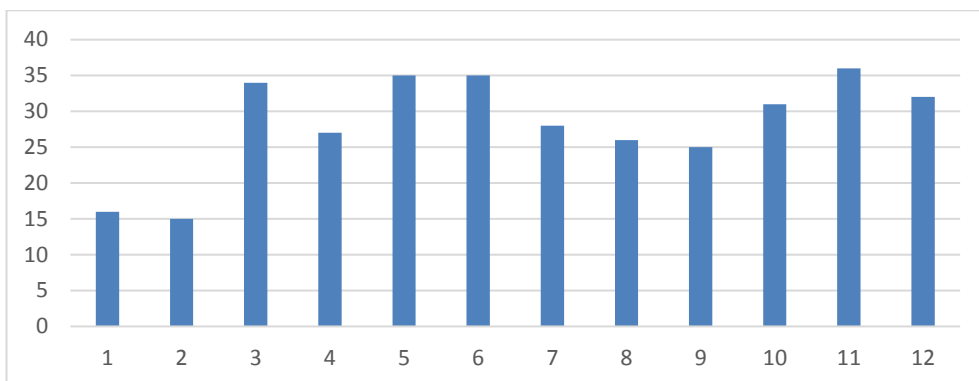
Obr. č. 19: Počet nehod v jednotlivých měsících v letech 2011 - 2017.  
(autor Petr Matějka, 2018)

Vývoj množství nehod v letech 2011 až 2017 zobrazuje obr. č. 20. Na stále vzrůstající trend vzestupu počtu nehod dopravních prostředků s volně žijící zvěří má primární vliv stále stoupající množství nově registrovaných vozidel a tím pádem každoroční zvyšování intenzity dopravy na pozemních komunikacích.

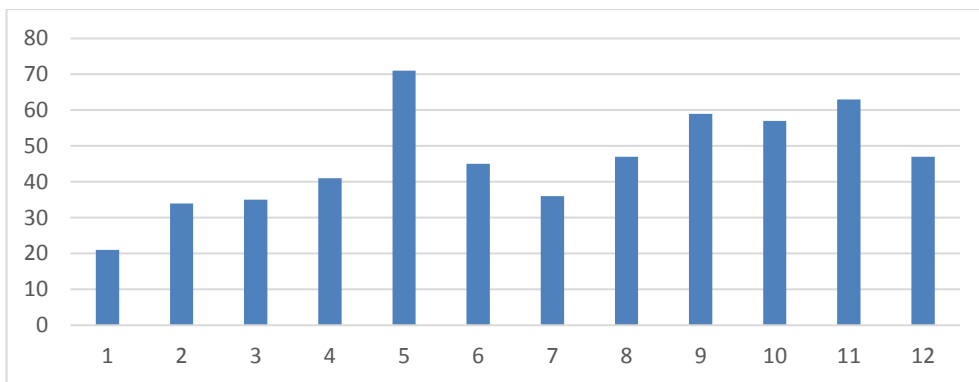


Obr. č. 20: Vývoj počtu nehod v letech 2011 až 2017.  
(autor Petr Matějka, 2018)

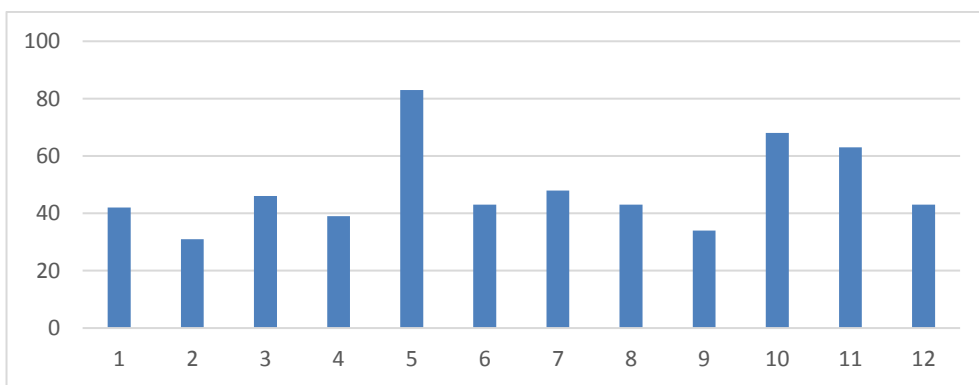
Vývoj v jednotlivých měsících let 2011 až 2017 zachycují obrázky č. 21 až 27.



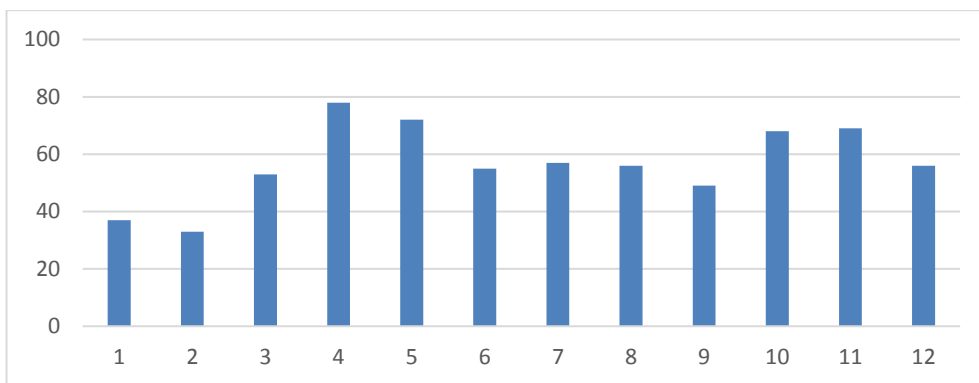
Obr. č. 21: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2011.  
(autor Petr Matějka, 2018)



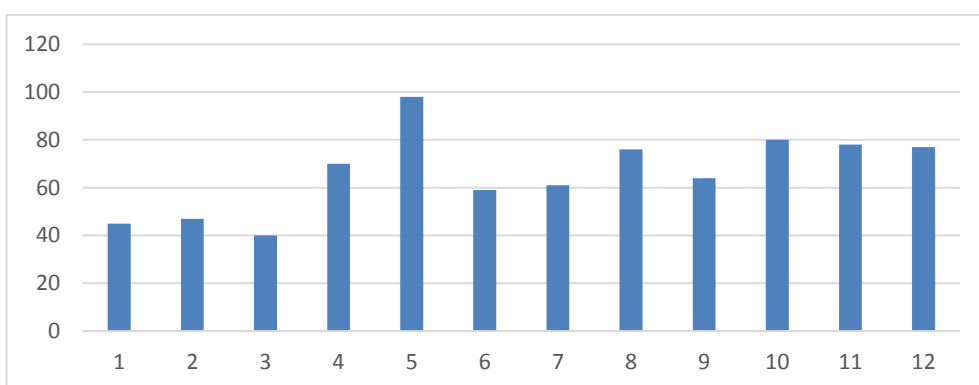
Obr. č. 22: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2012.  
(autor Petr Matějka, 2018)



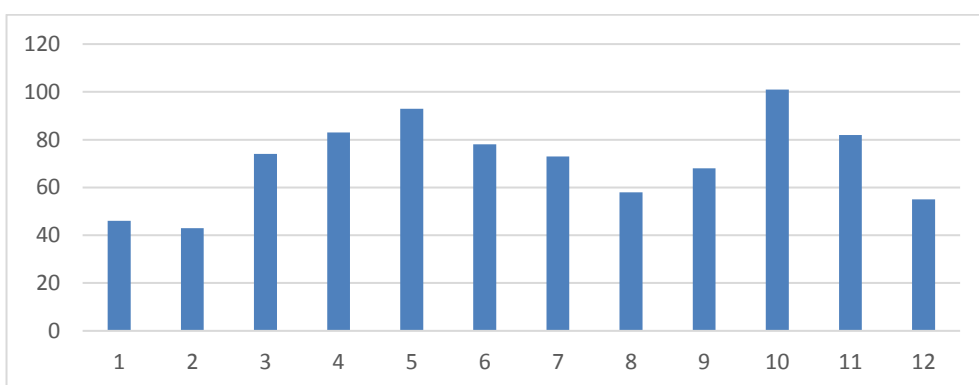
Obr. č. 23: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2013.  
(autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 24: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2014.  
(autor Petr Matějka, 2018)

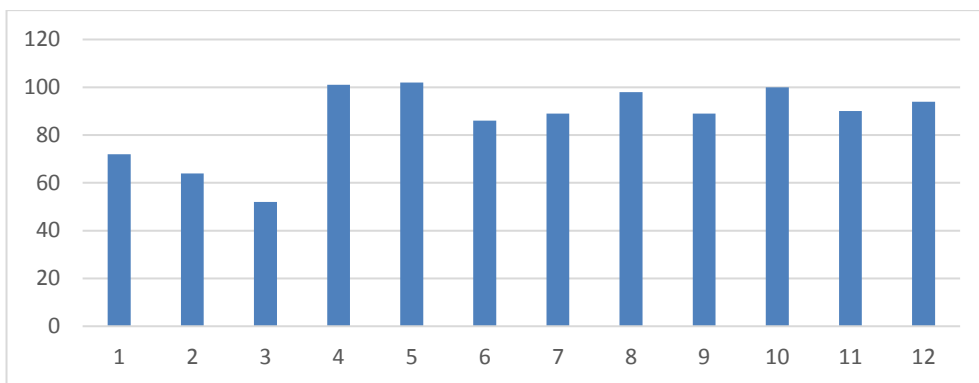


Obr. č. 25: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2015.  
(autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 26: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2016.  
(autor Petr Matějka, 2018)





Obr. č. 27: Počet nehod v jednotlivých měsících roku 2017.  
(autor Petr Matějka, 2018)

Na uvedených grafech vidíme shodu v rizikových měsících květen, říjen a listopad. V některých letech se nárůst počtu nehod objeví již v měsíci dubnu, což lze odůvodnit rozdílným koncem zimy a časnějším příchodem jara.

### Hotspoty vs. cenné lokality

Z celkové výměry 9345km<sup>2</sup> cenných lokalit (Přírodní parky, chráněné krajinné oblasti, aj.) je v hodnoceném okolí hotspotů zastoupeno minimální plochou 1,34km<sup>2</sup>.

Ze všech 217 výsledných hotspotů zasahují do cenné lokality 4 hotspoty zasahující plně svou plochou do tří chráněných území:

- Evropsky významná lokalita Rychlebské hory – Sokolský hřbet
- Evropsky významná lokalita Krkonoše
- Přírodní památka Olešnice
- Evropsky významná lokalita Olešnice

### Hotspoty vs. vodní plocha a vodní toky

Analýzou blízkosti vodních ploch došlo k zajímavému zjištění, že do 200 metrů od centra hotspotů nejsou v dosahu žádné vodní plochy.

Vodní tok protéká celkem 68 vyhodnocenými hotspoty, tj. 31% z celkového počtu. Celková délka vodního toku v těchto hotspotech tvoří celkovou délku 19,7km. Z toho 25 hotspoty protéká vodní tok o délce shodné s hodnoceným průměrem okolí hotspotu (400m).

## Hotspoty vs. zelené plochy

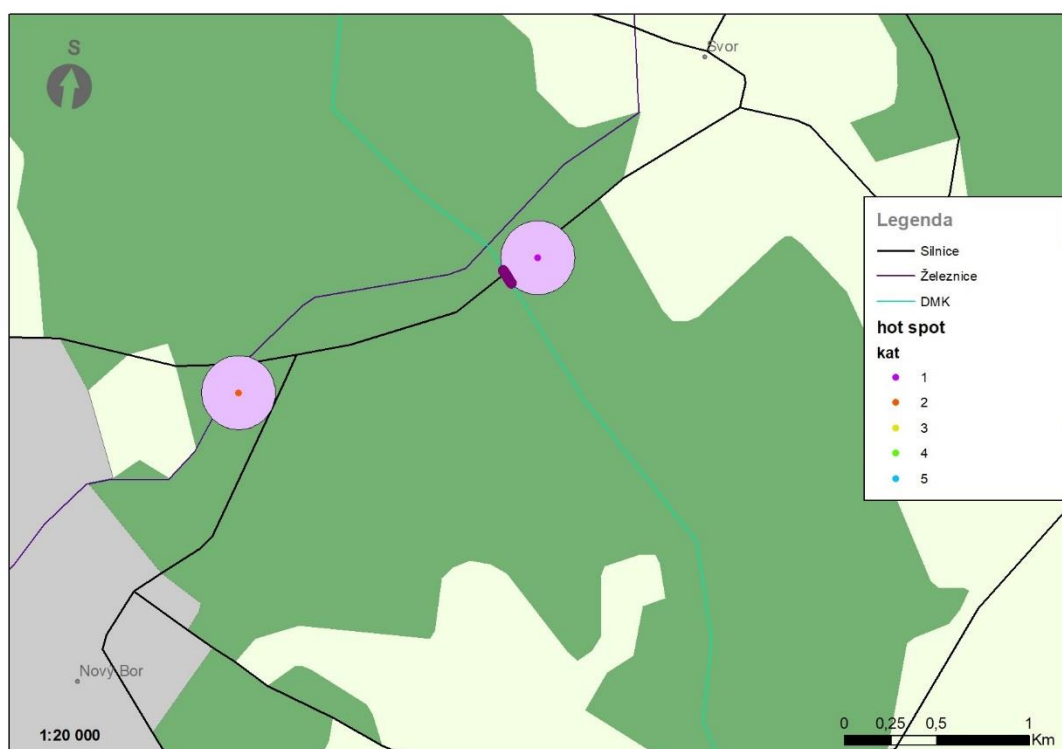
Z celkového počtu 217 hotspotů je zastoupen lesní porost v 76 případech (35%). Z celkové plochy 26km<sup>2</sup> okolí hotspotů jde o plochu 5,3km<sup>2</sup>, tj 20,4%.

## Vliv na dálkové migrační koridory

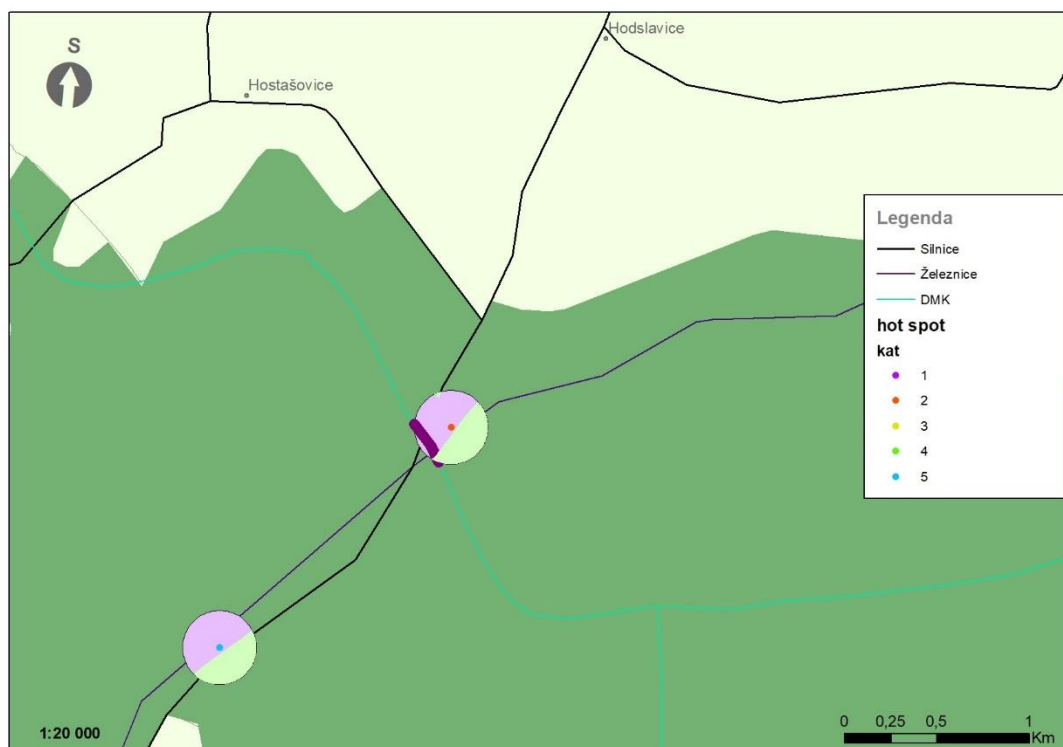
Z celkového počtu výsledných hotspotů prochází 11 dálkový migrační koridor divoké zvěře. S ohledem na to, že jde o významné krajinné prvky využívané primárně velkými savci pro průchod krajinou jde o velice významná místa.

Obr. č. 28 a 29 zobrazuje dva nejvýznamnější hotspoty (první a druhé kategorie významnosti) ovlivňující dálkový migrační koridor. Ostatní hotspoty ovlivňující DMK patří k nejnižším kategoriím významnosti (4 a 5 kategorie).

Vyhodnocený hotspot z obr. č. 28 se nachází severovýchodně od Nového Boru v Libereckém kraji a zobrazuje souběžné liniové stavby procházející přes lesní porost, kterým prochází dálkový migrační koridor. Hotspot protínající DMK patří svou významností k první nejrizikovější kategorii, ve své těsné blízkosti má další vyhodnocený hotspot druhé kategorie. Lze tedy usuzovat značný vliv intenzity dopravy na místní silnici a železnici na migrující divokou zvěř v této lokalitě.



Obr. č. 28: Hotspot 1 kategorie ovlivňuje procházející DMK. V blízkosti se nachází další hotspot 2 kategorie. Oblast severovýchodně od Nového Boru. (autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 29: Hotspot druhé kategorie ovlivňuje procházející DMK. V blízkosti se nachází další hotspot 5 kategorie. Oblast severně od Valašského Meziříčí. (autor Petr Matějka, 2018)

Další významný vyhodnocený hotspot na obr. č. 29 se nachází severovýchodně od Valašského Meziříčí ve Zlínském kraji. Jde o významnou oblast, ve které je železnice vedena v blízkém okolí silnice a tvoří společnou migrační bariéru. Zde procházející dálkový migrační koridor protíná obě liniové stavby v lesním porostu a v okolí vyhodnoceného hotpotu dochází ke značnému riziku srážky divoké zvěře s dopravním prostředkem. Vyhodnocený hotspot je druhé kategorie významnosti a ve svém okolí má další hotspot nejnižší kategorie významnosti. Zároveň je tato oblast součástí evropsky významné lokality Beskydy.

## 6. Diskuze

### 6.1 Analýza dat pro získání hot spot

Vzhledem k neexistující kvalitní databázi nehod drážních vozidel s divokou zvěří (Keken a Kušta, 2017) je analýza sestavena z dostupných záznamů nehod na silnici ve vzdálenosti 200m od železnice. Analyzovaná data pochází z databáze vytvořené ze záznamů dopravních nehod zaznamenaných Policií ČR. Vzhledem k rozdílnému přístupu Policie ČR v Jihočeském a Plzeňském kraji oproti zbytku krajů ČR neobsahuje tato databáze všechny dopravní incidenty s divokou zvěří. Oba kraje obsahují hodnotné území s častým výskytem divoké zvěře, proto, pokud by byla databáze se záznamy vč. těchto krajů, lze předpokládat rozšíření počtu vyhodnocených hotspotů nejen do počtu, ale i významnosti.

Získaná databáze vyhodnocených záznamů nehod je ve vazbě na železnici pouze přes vzdálenost obou liniových staveb. Proto výsledky analýzy tohoto souboru dat nemusí přesně odpovídat podmínkám železničního vedení. Pokud nebude existovat kvalitní evidence střetů drážních vozidel s divokou zvěří, budou získané výsledky z podobných analýz pouze nepřímé.

### 6.2 Identifikace souběžných bariér

Souběžné liniové stavby železnice a silnice jsou z celkové délky železnice v ČR zastoupeny v téměř 43%. Ve vyhodnocených hotspotech jsou souběžné liniové stavby zastoupeny v 61%. Proto lze souhlasit se vznikem společné migrační bariéry pro migraci divoké zvěře (Anděl a kol., 2011).

### 6.3 Časový horizont

Kušta a kol. (2014) říká, že u srnce dochází k nejčastějším nehodám v zimě. Analýzou dat došlo k vyhodnocení nejrizikovějších měsíců na jaře (duben, květen) a na podzim (říjen, listopad). Tento výsledek potvrzuje Steiner a kol. (2006), proto nelze označit všechny měsíce zimy za rizikové. Dle Seiler (2005) využívá zvěř v zimních měsících ráda železniční vedení pro snadnější migraci (nemusí překonávat neprostupný sníh ve volné přírodě) a v letních měsících často využívá železnici jako místo odpočinku. Z výsledků nejrizikovějších měsíců s tímto tvrzením nemohu plně souhlasit, analýza nehod neprokázala nejvíce nehodové měsíce v létě, ani zimě. Porovnáním vyhodnocených rizikových měsíců v jednotlivých letech došlo k vysledování opakování, pokud v roce nedošlo ke klimatickým extrémům. Tento výsledek potvrzuje Bowman a kol (2010).

### 6.4 Širší vztahy

Kušta a kol. (2017) říká, že dochází k častějším nehodám v místech, kde je železnice vedena v loukách a otevřených plochách skrz lesní porost. Kdežto na studii

provedené v Norsku vytvořením mýtin vhodnou druhovou strukturou vegetace a úpravou vegetace (prořez, sečení) v těsném okolí železnice vhodné podmínky pro divokou zvěř, která tímto získala dostatek času reagovat na blížící se vlak. Výsledkem diplomové práce je výskyt zelené plochy (lesní, keřový a jiný porost) pouze na 20% analyzované plochy okolí hotspotů, proto souhlasím s tvrzením nejrizikovějších míst v podobě otevřených ploch.

Findler a kol. (1999) mluví o vlivu dostupnosti vodních toků na zvýšení rizika vzniku nehod. V analýze okolí hotspotů nedošlo k ověření tohoto názoru, vodní plochy nejsou zastoupeny vůbec, vodní toky minimálně.

Dle Davenport a kol. (2006) dochází k velkým dopadům nehod na migrační trasy divoké zvěře. Analýzou národních DMK došlo pouze ve dvou hotspotech k dopadu na DMK. Proto s tímto tvrzením souhlasím pouze v případě lokálních migračních tras v rámci místního ÚSES. Značná nehodovost u DMK nebyla prokázána.

Při řešení průchodnosti silnic je často navrhované řešení k zabránění vstupu divoké zvěře na vozovku v podobě pachových ohradníků. Může jít o ekonomicky výhodné řešení se snadnou instalací, ale diskutabilní účinností a životností. Degradace instalovaných pachových ohradníků je v časovém horizontu značná, účinnost v zimních měsících podstatně snížena. Instalace tohoto řešení v prostoru železnice je s ohledem na často ztíženou dostupnost kolejového vedení problematická. Běžně je kolejový svršek veden ve značné vzdálenosti od silniční infrastruktury bez přístupu a dalším limitem v dostupnosti je časté výškové převýšení kolejového svršku, či jeho okolí.

Z aplikovaných řešení pro předcházení střetů s divokou zvěří se do popředí dostávají řešení založené na využití elektronického zařízení. Instalace těchto zařízení má dva směry. První je aplikace elektronického vybavení pro rušení divoké zvěře ve předem vtipovaných rizikových místech. Instalace tohoto zařízení je ovlivněna špatnou dostupností (železnice vede často otevřenou krajinou bez možnosti snadného přístupu z pozemních komunikací) a tím náročnou následnou údržbou. Druhou možností je instalace tohoto zařízení na každé drážní vozidlo se spínáním pomocí polohových služeb (GPS, drážní polohové zabezpečovací zařízení). Toto druhé řešení je ideální v univerzálnosti s ohledem na místo použití drážního vozidla. Takto vybavené drážní vozidlo může být použito kdekoli na železniční síti, jen je potřeba elektronický modul vybavit pamětí s aktuální databází rizikových míst. Nevýhodou těchto řešení může být návyk zvěře na tyto signalizace a tím omezenou dobou využitelnosti (Babinská-Werka a kol., 2015).

## 7. Závěr

S ohledem na absenci kvalitní databáze střetů drážních vozidel s divokou zvěří je potřeba kvalitně zhodnotit stávající databáze záznamů nehod. Možnou cestu ukazuje tato diplomová práce, kdy pomocí počítačového modelování získáme potenciálně riziková místa, která by byla ideální pro následný terénní průzkum. Během něj by došlo k řešení stávajících problematických míst.

Mezi nejvhodnější metody zabránění střetu drážních vozidel se zvěří vidím v optimálním využití stávajícího prostředí v okolí kolejového vedení ať už v navedení zvěře k existujícím technickým stavbám (propustky, mosty). Ty lze za poměrně rozumné ekonomické náklady vybavit např. lávkou pro usnadnění průchodu divoké zvěře. Navedení divoké zvěře na tato místa je možné vhodnou skladbou a údržbou dřevin v okolí těchto staveb bez nákladného budování oplocení, které představují významnou migrační překážku.

Na nejrizikovějších místech střetů, případně na místech, kde kolejový svršek křížuje dálkový migrační koridor zvěře bych navrhl využití moderních elektronických prostředků. Za nevhodné považuji stacionárně instalované elektronické vybavení s ohledem na nutnou údržbu v místě instalace a možný vandalismus. Navrhuji se inspirovat posledním výzkumem provedeným v Japonsku a experimentálně vybavit vozidla akustickým plašením divoké zvěře. Toto zařízení by bylo možné v drážním vozidle aktivovat automaticky v rámci přiblížení ke kritické GPS souřadnici bez vlivu obsluhy drážního vozidla. Z ekonomického hlediska nepředstavuje toto zařízení značné náklady v celkové ceně nově pořizovaných drážních vozidel, jejichž cena bývá v řádech stovek milionů korun.

V dnešní době stojí česká železnice na mezníku značné modernizace a obměny vozového parku a výstavbou nových moderních drážních úseků. Vyhodnocení rizikových míst a volba optimálního řešení zamezení střetů drážních vozidel a divoké zvěře je na pořadu dne.

## 8. Seznam literatury

### Odborné publikace

Anděl P., Belková H., Gorčicová I., Hlaváč V., Libosvár T., Rozínek R., Šikula T., Vojar J., 2011: Průchodnost silnic a dálnic pro volně žijící živočichy. Evernia s. r. o. AOPK ČR, Liberec, P. 161.

Anděl P., Gorčicová I., Hlaváč V., Miko L., Andělová H., 2005: Hodnocení fragmentace krajiny dopravou. AOPK ČR, Praha, 67 p.

Anděl P., Mináriková T., Andreas M. (2010): Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce. Evernia s.r.o., Liberec, P. 137.

Andreassen H. P., Gundersen H., Storaashe, T., 2005: The effect of scent-marking, forest clearing and supplemental feeding on moose-train collisions. *Journal of Wildlife Management* 69, P. 1125–1132.

Anthony P. Clevenger and Marcel P. Huijser, 2011: *Wildlife Crossing Structure Handbook Design and Evaluation in North America*, P. 224.

Baofa Y., Huyin H., Yili Z., Le Z., Wanhong W., 2006: Influence of the Qinghai-Tibetan railway and highway on the activities of wild animals. *Acta Ecologica Sinica* 26, P. 3917-3923.

Bí, M., Andrášik R., Svoboda T., Sedoník J., 2016: The KDE+ Software: A Tool for Effective Identification of Animal-Vehicle Collision Hotspots Along Networks. *Landscape Ecology* 31, P. 231–237.

Bíl M., Andrášik R., Janoška Z., 2013: Identification of Hazardous Road Locations of Traffic Accidents by Means of Kernel Density Estimation and Cluster Significance Evaluation. *Accident Analysis and Prevention* 55, P. 265–273.

Bowman J., Ray J.C., Magoun A.J., Johnson D.S., Dawson F.N., 2010: Roads, logging, and the large-mammal community of an eastern Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Zoology* 88, P. 454–467.

Budzic K. A., Budzic K. M., 2014: A preliminary report of amphibian mortality patterns on railways. *Acta Herpetologica* 9, P. 103-107.

Clauze, C., Girardet X. & Foltête J.C., 2013: Impact assessment of a high-speed railway line on species distribution: Application to the European tree frog (*Hyla arborea*) in Franche-Comté. *Journal of Environmental Management* 127, P. 125-134.

Clevenger A. P., Waltho N., 2000: Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology* 14, P. 47–56.

Costa A.S., Ascensão F., Bager A., 2015: Mixed sampling protocols improve the cost-effectiveness of roadkill surveys. *Biodiversity and Conservation*, 24, P. 2953-2965.

- Damarad T., Bekker G., J., 2003: Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure: Findings of the COST Action 341. Office for official publications of the European Communities. Online:  
[http://www.iene.info/wpcontent/uploads/COST341\\_final\\_report.pdf](http://www.iene.info/wpcontent/uploads/COST341_final_report.pdf)
- Davenport J., Davenport J. L., 2006: The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment. Springer, Dordrecht, The Netherlands. P. 393.
- Dorsey B., 2011: Factors affecting bear and ungulate mortalities along the Canadian Pacific Railroad through Banff and Yoho National Parks. Master's Thesis, Montana State University. P. 99.
- Dorsey B., Olsson M., Rew L. J., 2015: Ecological effects of railways on wildlife. P. 552.
- Eigenbrod F., Hecnar S. J., Fahrig L., 2009: Quantifying the road effect zone: threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. *Ecology and Society* 14, P. 24-18.
- Fahrig L., Rytwinski T., 2009: Effects of roads on animal abundance: An empirical review and synthesis. *Ecology and Society* 14, P. 21.
- Finder R., A., Roseberry J. R., Woolf A., 1999: Site and landscape conditions at white-tailed deer/vehicle collision locations in Illinois. *Landscape and Urban Planning* 44, P. 77-85.
- Ford A.T., Clevenger A. P., Bennett A., 2009: Comparison of methods of monitoring wildlife crossing-structures on highways. *Journal of Wildlife Management* 73, P. 1213-1222.
- Forman R. T. T., Sperling D., Bissonette J. A., Clevenger A. P., Cutshall C. D., Dale V. H., Fahrig L., France R., Goldman C. R., Heanue K., Jones J. A., Swanson F. J., Turrentine T., Winter T. C., 2003: *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington, DC, USA. P. 504.
- Glista D. J., DeVault T. L., DeWoody J. A., 2009: A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. *Landscape and Urban Planning* 91, P. 1–7.
- Groot B., Hazebroek E., 1996: Ungulate traffic collisions in Europe. *Conservation Biology* 10, P. 1059–1067.
- Guarinoni M., Ganzleben C., Murphy E., Jurkiewicz K., 2012: Towards a comprehensive noise strategy. European Union, Brussels. P. 86.
- Gundersen H., Andreassen H. P., 1998: The risk of moose *Alces alces* collision: a predictive logistic model for moose-train accidents. *Wildlife Biology* 4, P. 103-110.



- Hofman J., Lefebvre W., Janssen S., Nackaerts R., Nuyts S., Mattheyses L., Samson R., 2014: Increasing the spatial resolution of air quality assessments in urban areas: A comparison of biomagnetic monitoring and urban scale modelling. *Atmospheric Environment*, 92, P. 130-140.
- Hrouzek K., 2011: K účinnosti pachových ohradníků u silnic. *Časopis Myslivost* 3/2011, P. 76.
- Child K. 1983: Railways and moose in the central interior of BC: a recurrent management problem. *Alces* 19, P 118–135.
- Chiocchia G., Clerico M., Salizzoni P., Marro M., 2010: Impact assessment of a railway noise in an alpine valley. In 10ème Congrès Français d'Acoustique. P. 6.
- In van der Ree R, Smith DJ, Grilo C., 2015: Handbook of road ecology, P. 219-227.
- Ito T.Y., Lhagvasuren B., Tsunekawa A., Shinoda M., Takatsuki S., Buuveibaatar B., Chimeddorj B., 2013: Fragmentation of the habitat of wild ungulates by anthropogenic barriers in Mongolia. *PLoS ONE*, 8, P. 8.
- Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlaváč V., Keller V., Rosell C., Sangwine T., Tørsløv N., Wandall B. M., 2003: *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*, KNNV Natural History Publishers, Utrecht, The Netherlands. P. 223.
- Jackson S. D., Griffin C. R., 2000: A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. *Wildlife and Highways: Seeing Solutions to an Ecological and Socio-economic Dilemma*. The Wildlife Society: P. 143 - 159.
- Jaeger J. A., 2000: Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. *Landscape ecology*, 2/15, P. 115-130.
- Jaren V., Andersen, R., Ulleberg M., Pedersen P.H., Wiseth B., 1991: Moose–train collisions: the effects of vegetation removal with a cost-benefit analysis. *Alces* 27, P. 93-99.
- Keken Z., Kušta T., 2017: *Railway Ecology*, P. 247-260.
- Klescht V., Valachovič D., 2002: *Ochrana živočichov na pozemných komunikáciách*. ŠOP SR, Banská Bystrica, P. 95.
- Kornilev Y., Price S., Dorcas, M., 2006: Between a rock and a hard place: responses of eastern box turtles (*Terrapene carolina*) when trapped between railroad tracks. *Herpetological Reviews* 37, P. 145-148.
- Kuchta T., Pernička J., 2017: Současné problémy s vozidly ČD. *Železniční magazín* 1, P. 10 - 12.
- Kušta T., Keken Z., Barták V., Holá M., Ježek M., Hart V., Hanzal V., 2014: The mortality patterns of wildlife-vehicle collisions in the Czech Republic. *North-Western Journal of Zoology* 10(2), P. 393–399.

- Kušta T., Ježek M., Keken Z., 2011: Mortality of large mammals on railway tracks. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 1/42, P. 12-18.
- Kušta T., Keken Z., Ježek M., Kůta Z., 2015: Effectiveness and costs of odor repellents in wildlife-vehicle collisions: a case study in Central Bohemia, Czech Republic. *Transportation Research Part D*, P. 38.
- Kušta T., Keken Z., Ježek M., Holá M., Šmíd P., 2017: The effect of traffic intensity and animal activity on probability of ungulate-vehicle collisions in the Czech Republic. *Safety Science* 91, P. 105-113.
- Lampman R., Hazlehurst T., 2012: "Wildlife exclusion systems and methods for railway tracks.", U.S. Patent Application, 13/627, P. 886.
- Levengood J. M., Heske E. J., Wilkins P. M., Scott J. W., 2015: Polyaromatic hydrocarbons and elements in sediments associated with a suburban railway. *Environmental Monitoring and Assessment* 187, P. 1-12.
- Löw J. , 1994.: Rukověť projektanta místního územního systému ekologické stability. Nakladatelství Doplněk, Brno 1995, P. 122.
- Mateus A.R.A., Grilo C., Santos-Reis M., 2011: Surveying drainage culvert use by carnivores: sampling design and cost-benefit analyzes of track-pads vs. video-surveillance methods. *Environmental Monitoring and Assessment* 181, P. 101-109.
- Mathews F., Swindells M., Goodhead R., August T. A., Hardman P., Linton D. M. , Hosken, D. J., 2013: Effectiveness of search dogs compared with human observers in locating bat carcasses at wind-turbine sites: A blinded randomized trial. *Wildlife Society Bulletin*, 37, P. 34-40.
- Miko L. , Hošek M., 2009 : Příroda a krajina ČR, Zpráva o stavu 2009, 1. vydání. Praha. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, P. 102.
- Muzzi P. D., Bisset A. R., 1990: Effectiveness of ultrasonic wildlife warning devices to reduce moose fatalities along railway corridors. *Alces*, P. 37-43.
- NG S. J., Dole J. W., Sauvajot R. M., Riley S. P., Valone T. J., 2004: Use of highway undercrossings by wildlife in southern California. *Biological Conservation*, 3/115, P. 499-507.
- Palacin R., Correia J., Zdziech M., Cassese T., Chitakova T., 2014: Rail Environmental Impact: Energy consumption and noise pollution assessment of different transport modes connecting Big Ben (London, UK) and Eiffel Tower (Paris, Fr). *Transport Problems: an International Scientific Journal*, P. 9 - 27.
- Peña O. L., Llama O. P., 1997: Mortalidad de aves en un tramo de línea de ferrocarril. Grupo Local SEO-Sierra de Guadarrama, Spain. P. 33.
- Plug C., Xia J., Caulfield C., 2011: Spatial and temporal visualization techniques for crash analysis. *Accident Anal. Prev.*, 43, P. 1937 – 1946.
- Pohl J., 2016: Rychlá osobní doprava. *Železniční magazín* 12, P. 14 - 17.

- Rodríguez A., Crema G., Delibes M., 1996: Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. *Journal of Applied Ecology* 33, P. 1527-1540.
- Roedenbeck I. A., Fahrig L., Findlay C. S., Houlahan J. E., Jaeger J. A. G., Klar N., Kramer-Schadt S., van der Grift E.A., 2007: The Rauschholzhausen agenda for road ecology. *Ecology and Society* 12, P. 11.
- Romportl D., Anděl P., Andreas M., Gorčicová I., Hlaváč V., Mináriková T., Zieglerová A., 2006: Metodika mapování migračních koridorů pro velké savce. Evernia s.r.o. AOPK ČR, Liberec, P. 15.
- Rytwinski T., van der Ree R., Cunnington G. M., Fahrig L., Findlay C.S., Houlahan J., Jaeger J. A. G., Soanes K., van der Grift E. A., 2015: Experimental study designs to improve the evaluation of road mitigation measures for wildlife. *Journal of Environmental Management* 154, P. 48-64.
- Santos S. M., Carvalho F., Mira A., 2011: How long do the dead survive on the Road? Carcass persistence probability and implications for road-kill monitoring rveys. *PLoS ONE*, 6. P. 16.
- Seiler A., Helldin J-O., 2006: Mortality in wildlife due to transportation, Springer, Dordrecht, The Netherlands, P. 165-189.
- Seiler A., 2005: Predicting locations of moose–vehicle collisions in Sweden. *Journal of Applied Ecology* 42, P. 371–382.
- Shimura M., Ushioji T., Ikehata M., 2017: Development of a Detering Sound for the Prevention of Deer-Train Collisions. *RTRI Report* 11, P. 35.
- Schreier P., 2004: Zrození železnic v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Baset, Praha, P. 293.
- Schreier P., 2009: Příběhy z dějin našich drah. *Mladá fronta*, Praha. P. 208.
- Schreier P., 2010: Naše dráhy ve 20. století. *Mladá fronta*, Praha, P. 192.
- Sklenička P., 2003: Základy krajinného plánování. Nakladatelství Naděžda Skleničková, Brno, P. 321.
- Steiner W., Leisch F., Hackländer K., 2014. A review on the temporal pattern of deer–vehicle accidents: Impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. *Accident Analysis and Prevention* 66, P. 168-181.
- Svoboda P., 2016: Trakční elektrická energie na českých železnicích. *Železniční magazín* 10, P. 26-28.
- Týfa L., 2007: Nejnovější trendy v oblasti infrastruktury vysokorychlostních tratí. Odborná konference Vysokorychlostní železniční doprava ve světě a v České republice. P. 11.
- van der Grift E. A., Kuijsters H. M. J., 1998: Mitigation measures to reduce habitat fragmentation by railway lines in the Netherlands. P 166-170.

van der Grift E. A., 1999: Mammals and railroads: Impacts and management implications. *Lutra*, 42, P. 77-98.

van der Grift E. A., van der Ree R., Fahrig L., Findlay S., Houlahan J., Jaeger J. A. G., Klar N., Madriňan L. F., Olson L., 2013: Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. *Biodiversity and Conservation* 22, P. 425–448.

van der Ree R., Clarkson D.T., Holland K., Gulle N., Budden M., 2008: Review of Mitigation Measures used to deal with the Issue of Habitat Fragmentation by Major Linear Infrastructure, Report for Department of Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA), 25/2006, P. 187.

Wells P., Woods J. G., Bridgewater G., Morrison H., 1999: Wildlife mortalities on railways: monitoring methods and mitigation strategies. Revelstoke, British Columbia. Unpublished Report. P. 11.

Wood P., Wolfe M. L., 1988: Intercept feeding as a means of reducing deer-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin* 16, P. 376–380.

Yanes M., Velasco J. M., Suárez F., 1995: Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological Conservation* 71, P. 217-222.

### **Legislativní zdroje**

Zákon č. 114/1992 Sb., O ochraně přírody a krajiny, v platném znění.

Zákon č. 266/1994 Sb., O drahách, v platném znění.

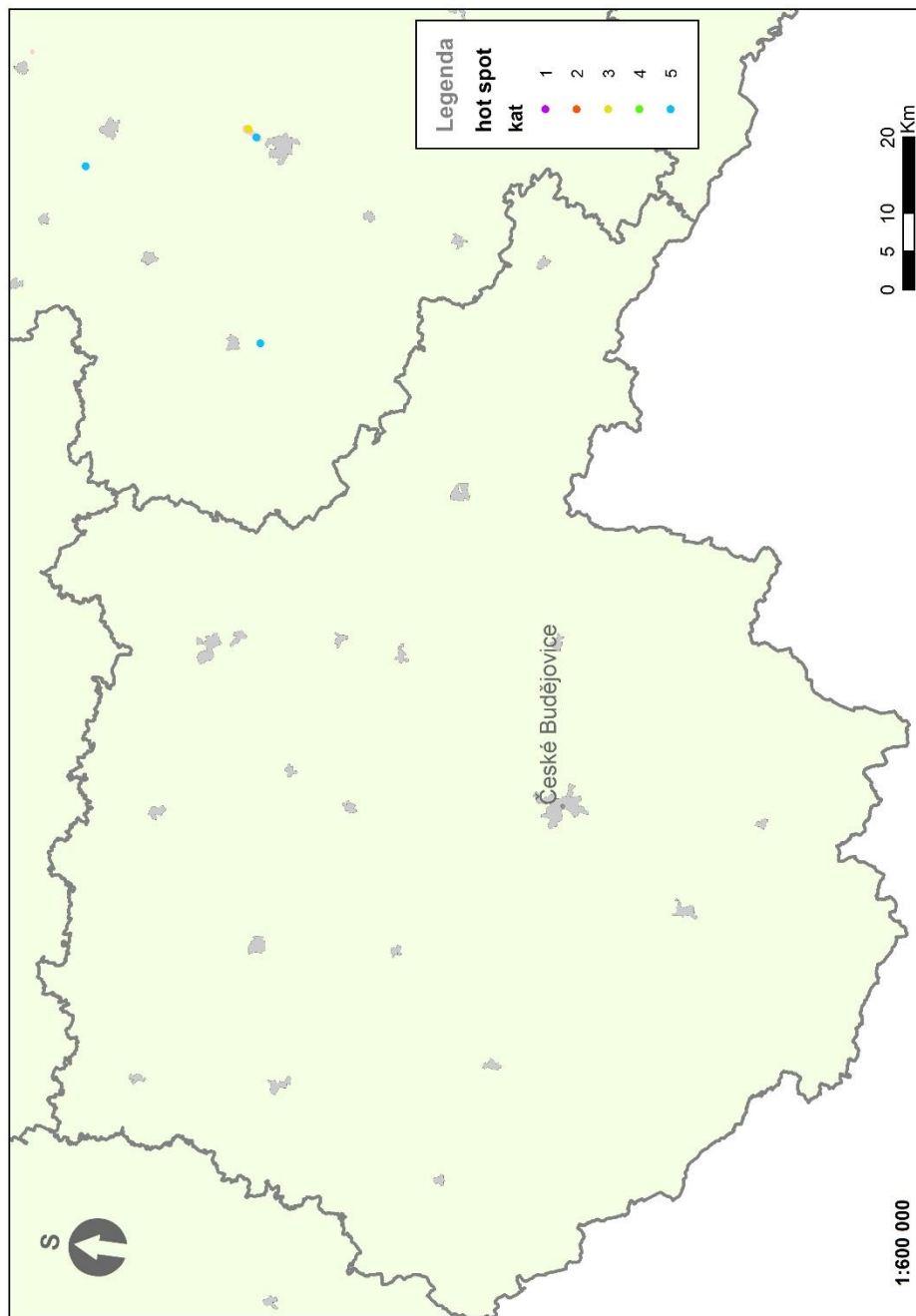
### **Ostatní zdroje**

Kotlásková Z., 2010: Nehodová místa na pozemních komunikacích v okrese Hodonín, Bakalářská práce, Dopravní fakulta, Univerzita Pardubice.

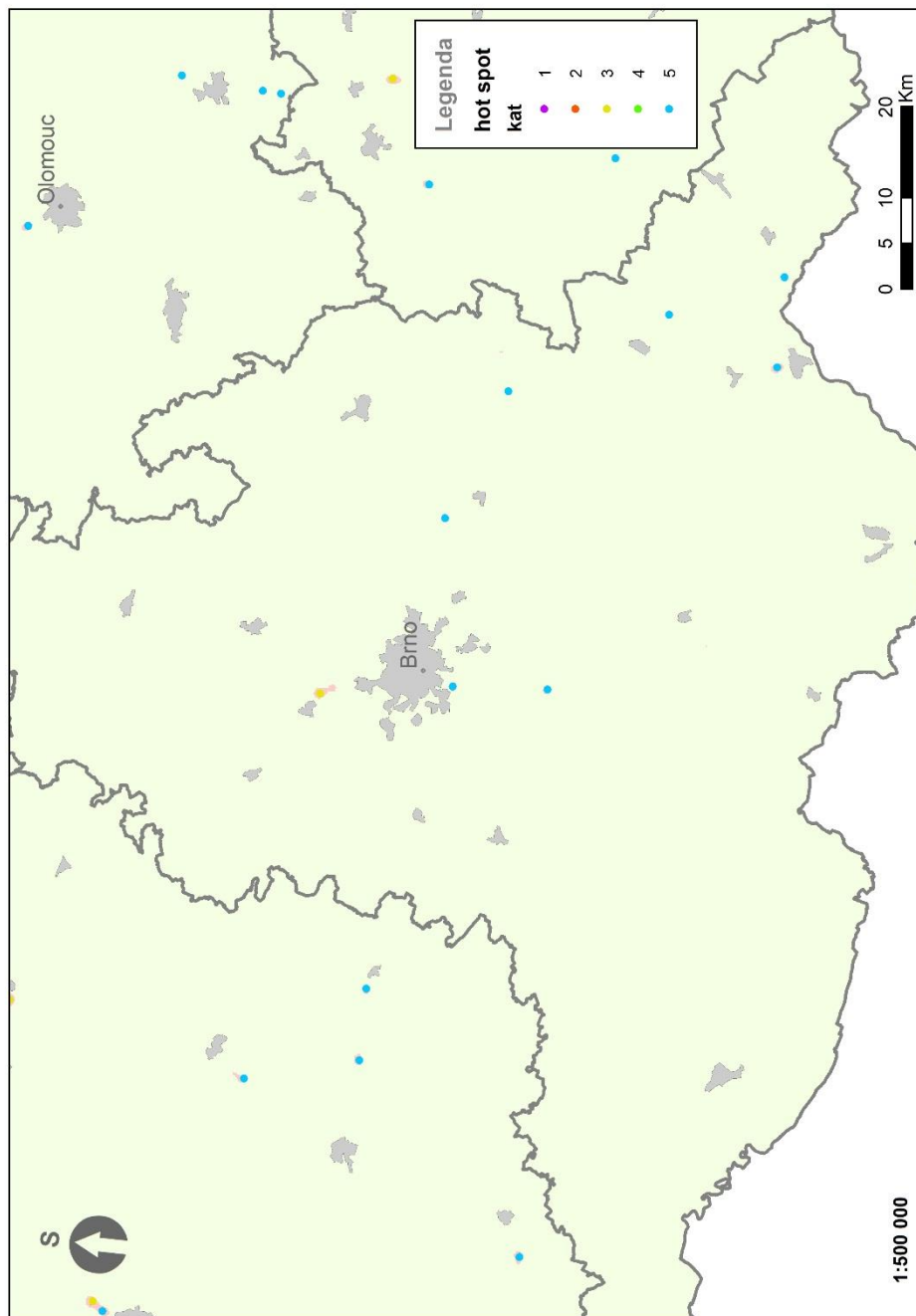
MD ČR, 2017: Program rozvoje rychlých železničních spojení v ČR. Ministerstvo Dopravy, P. 81.

## 9. Přílohy

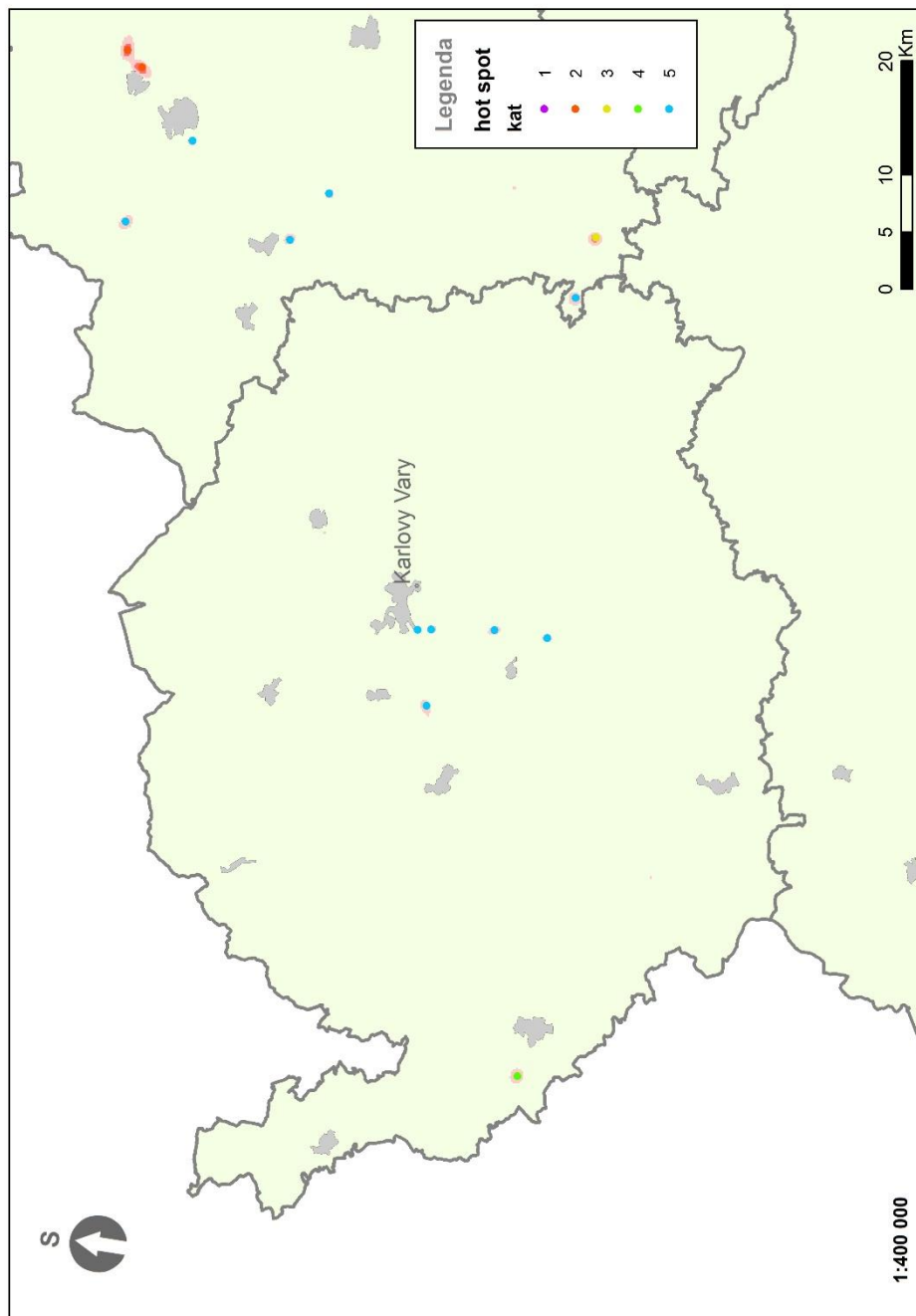
### Příloha č. 1 – Hotspoty v jednotlivých krajích



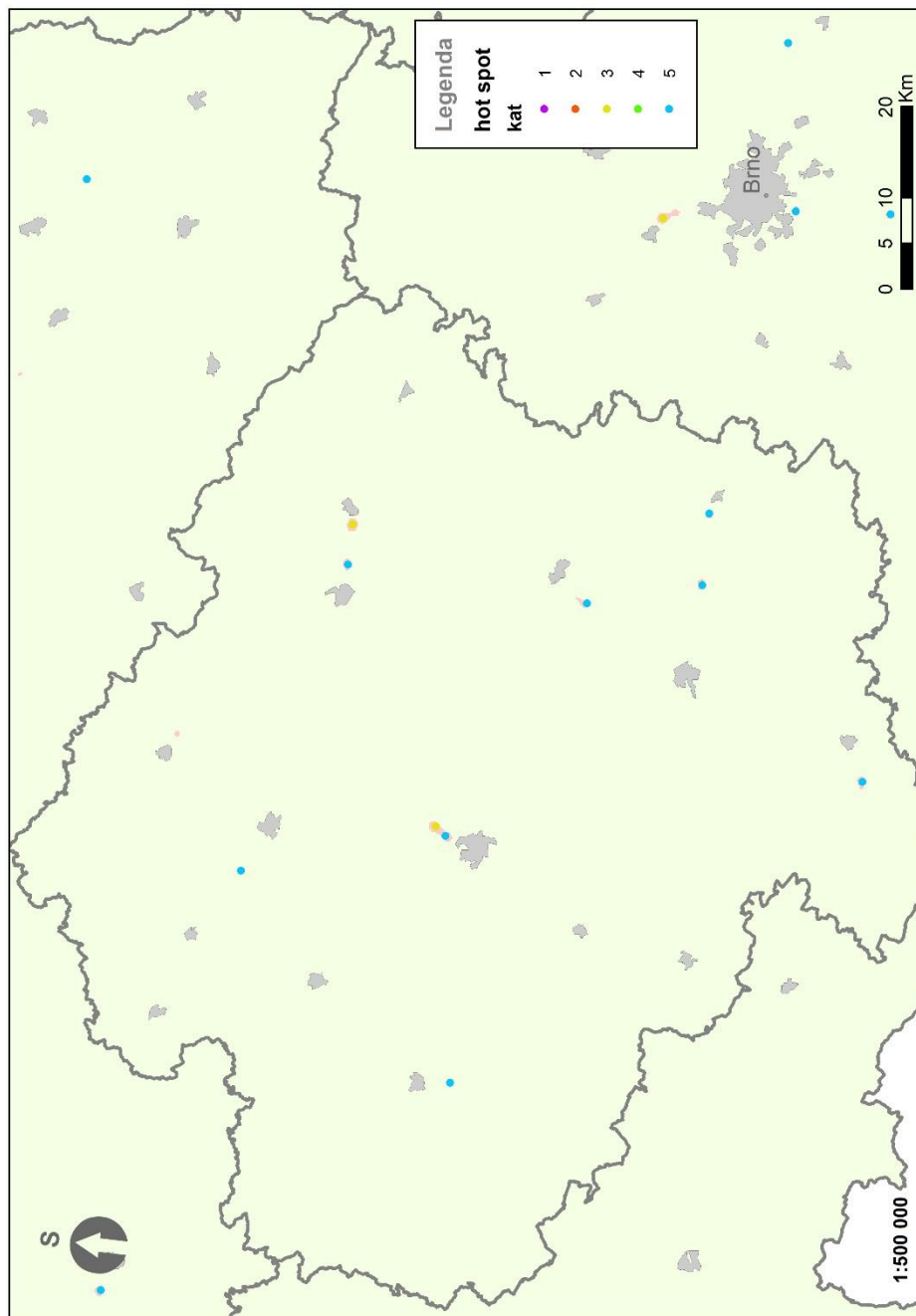
Obr. č. 1: Hotspoty v Jihočeském kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 2: Hotspoty v Jihomoravském kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)

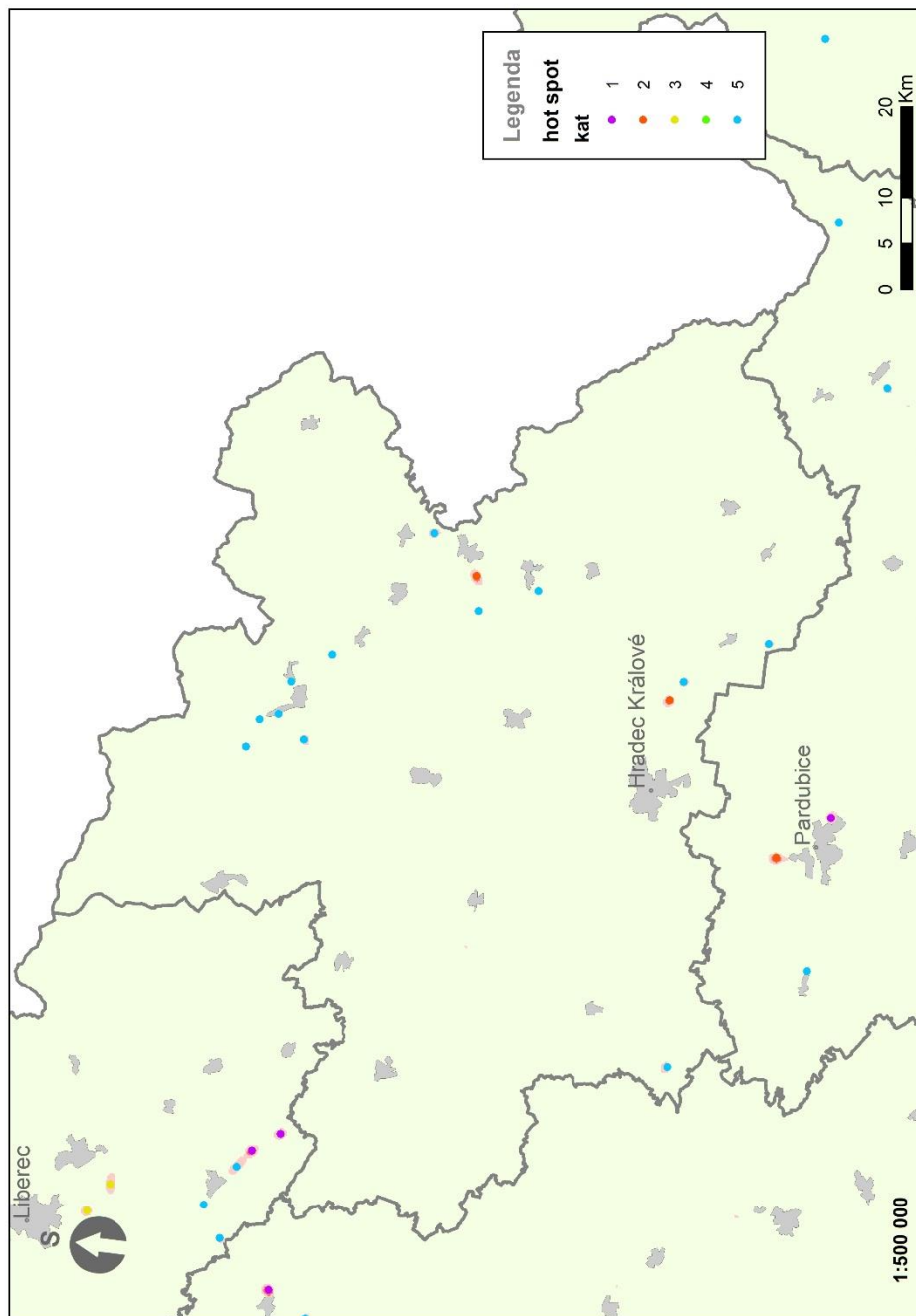


Obr. č. 3: Hotspoty v Karlovarském kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)

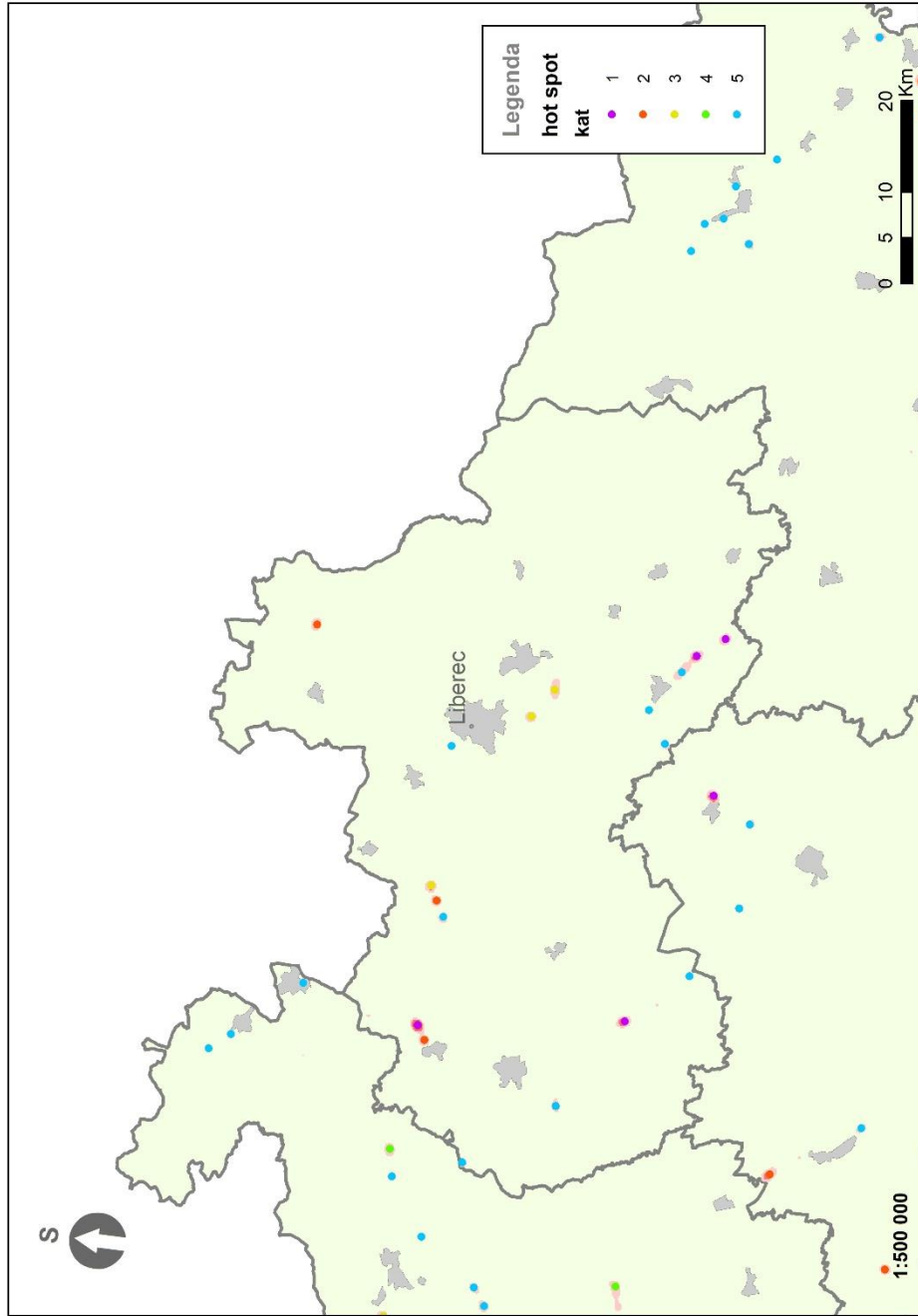


Obr. č. 4: Hotspoty v kraji Vysočina.  
(autor Petr Matějka, 2018)

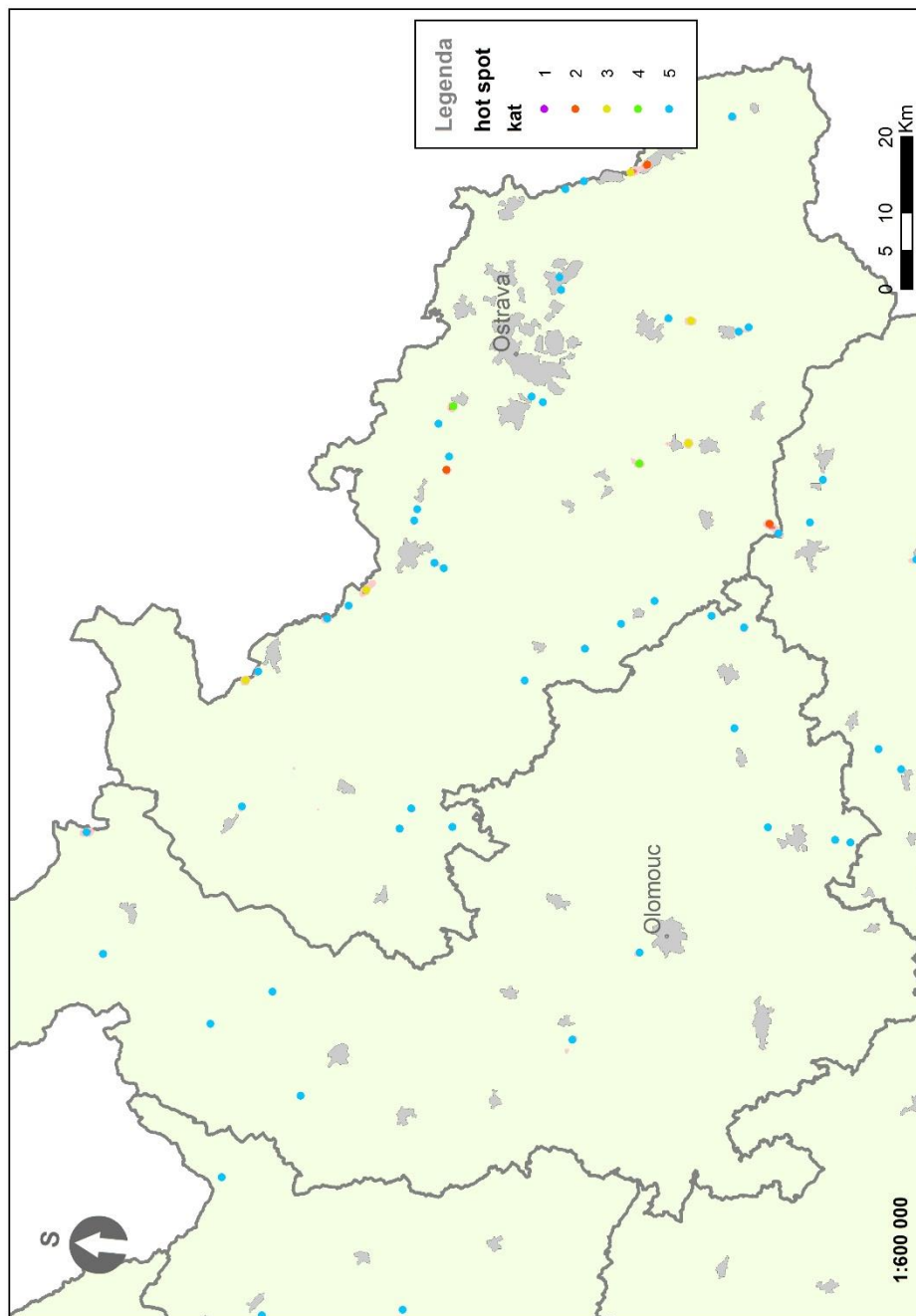




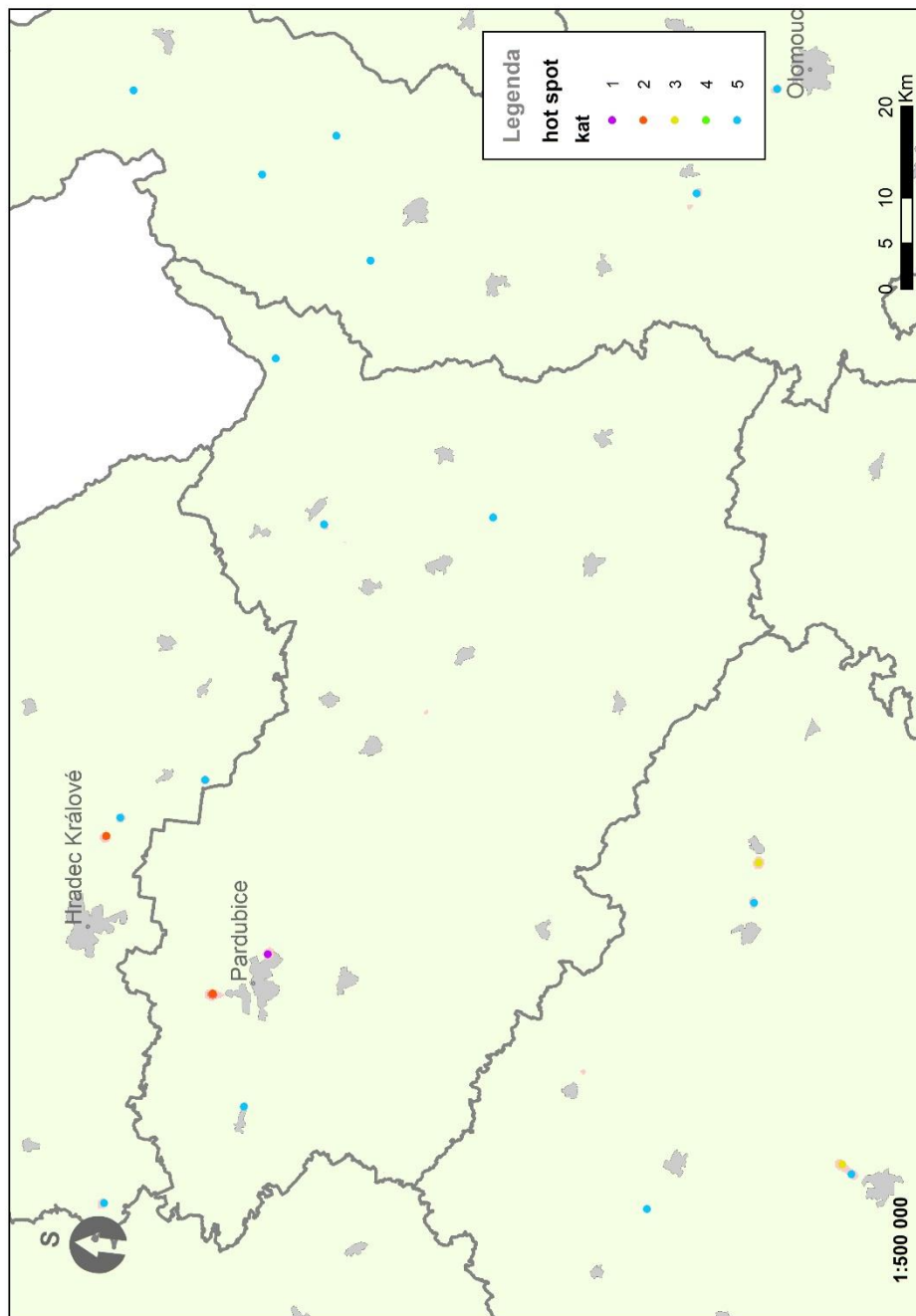
Obr. č. 5: Hotspoty v Královéhradeckém kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



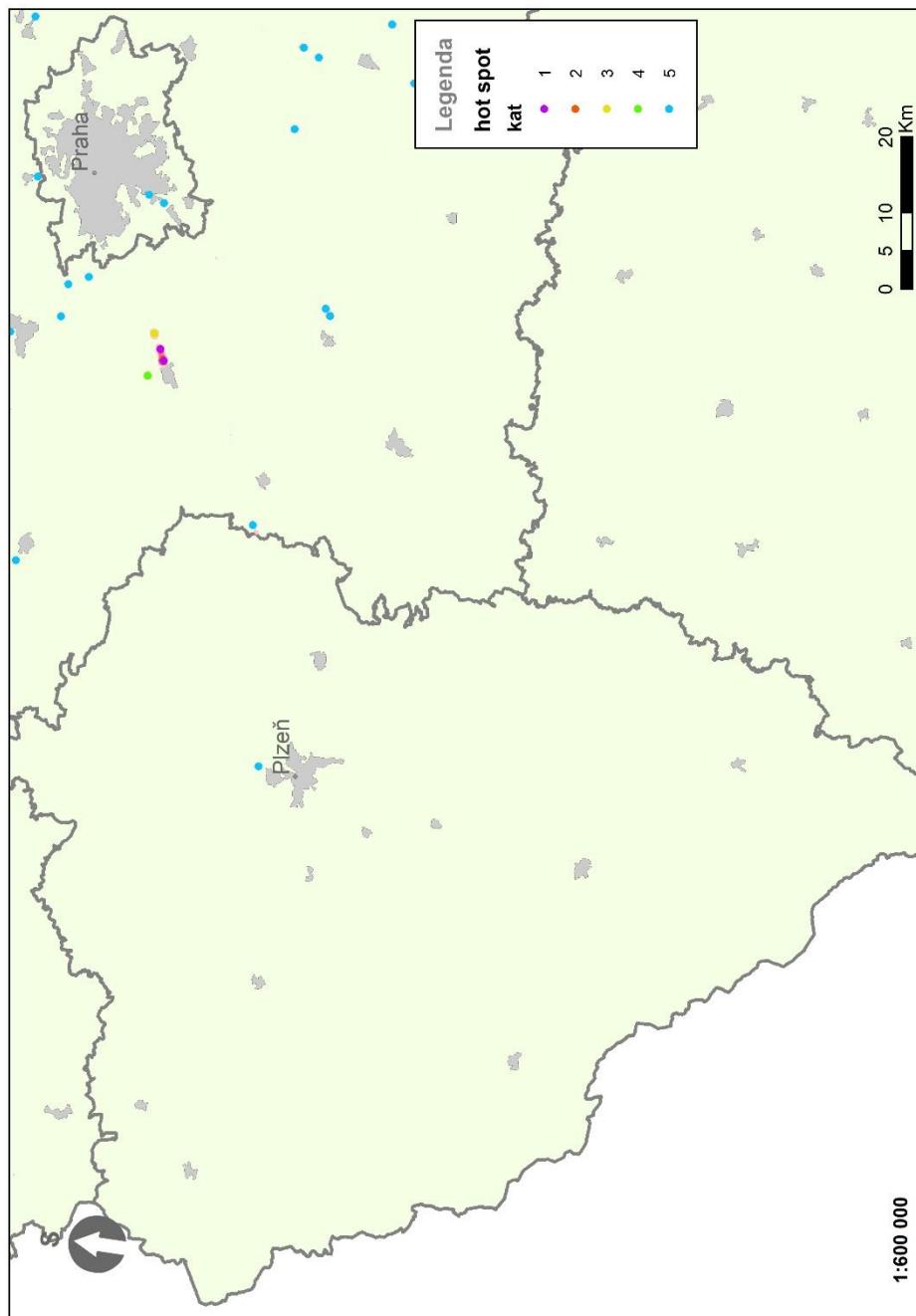
Obr. č. 6: Hotspoty v Libereckém kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



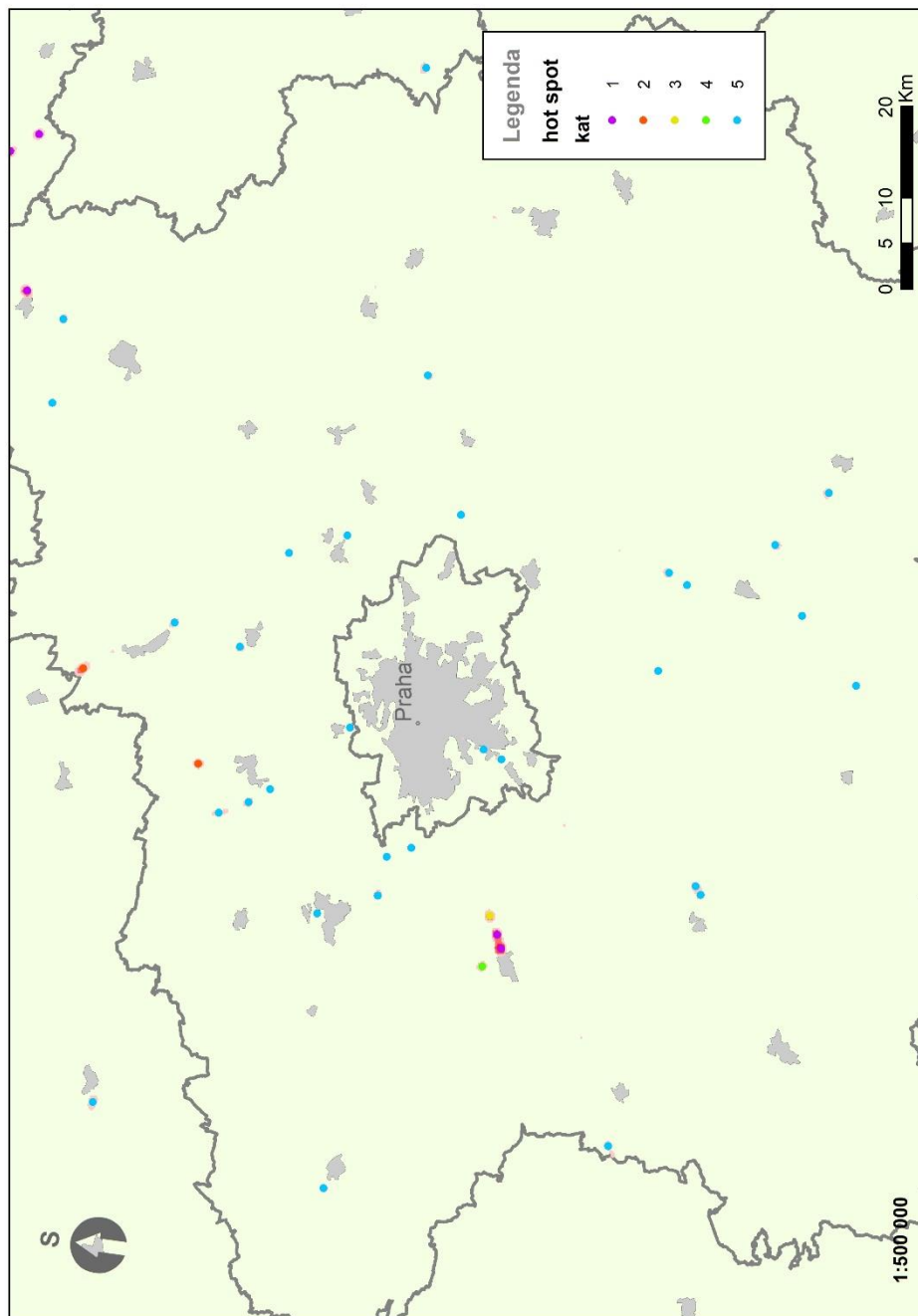
Obr. č. 7: Hotspoty v Olomouckém a Moravskoslezském kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



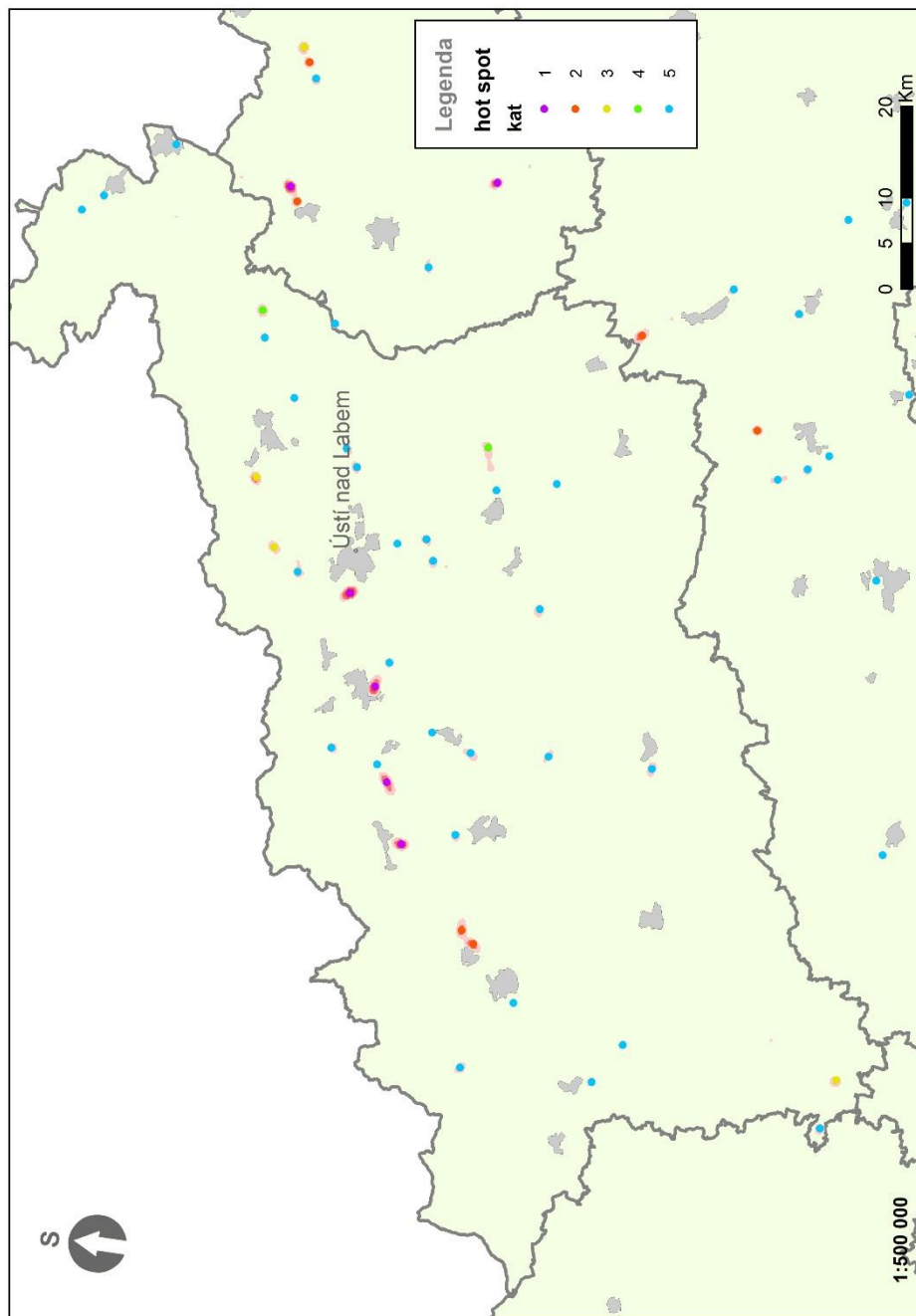
Obr. č. 8: Hotspoty v Pardubickém kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



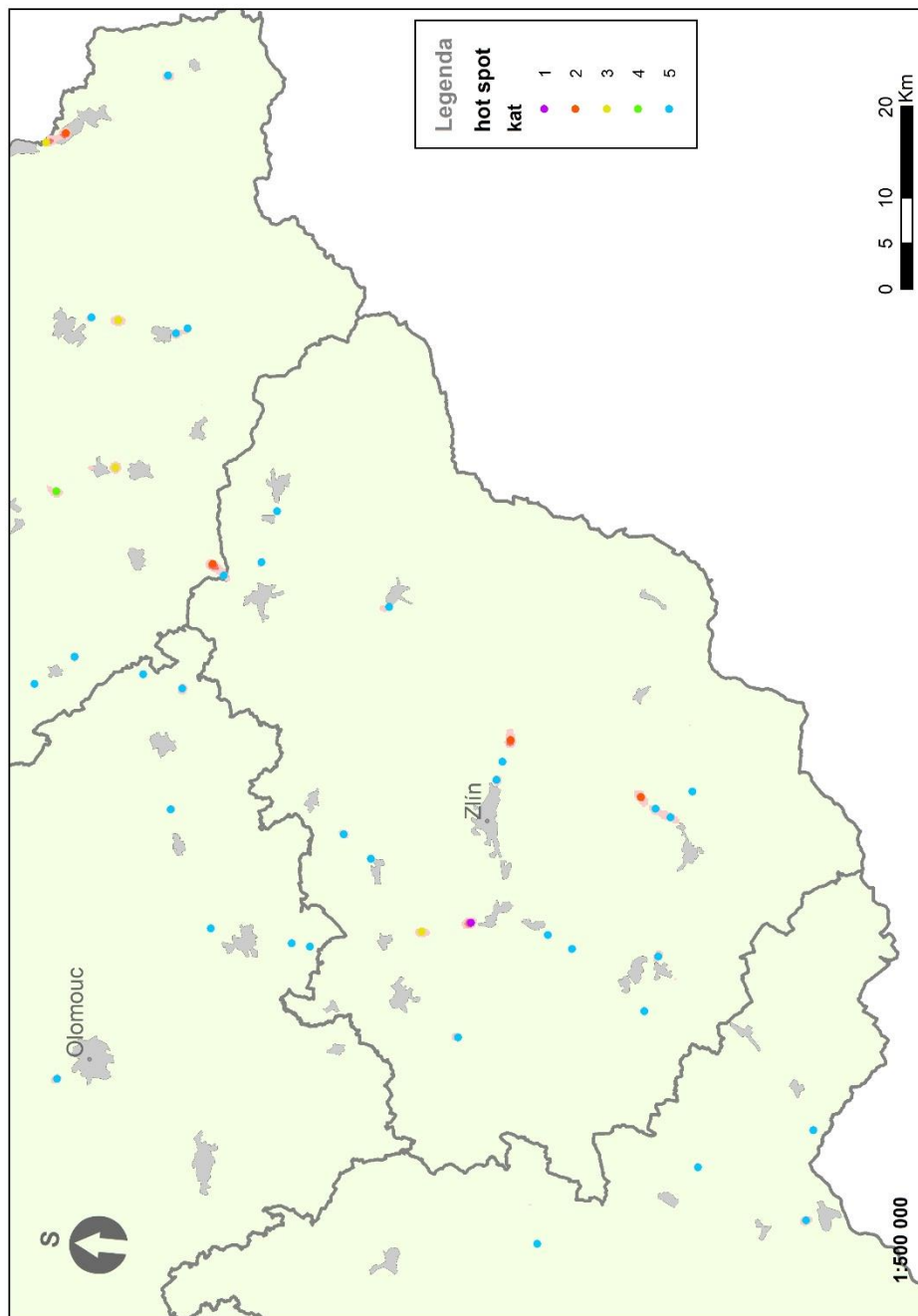
Obr. č. 9: Hotspoty v Plzeňském kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 10: Hotspoty v Středočeském kraji a kraji Hlavního města Prahy.  
(autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 11: Hotspotsy v Ústeckém kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)



Obr. č. 12: Hotspoty ve Zlínském kraji.  
(autor Petr Matějka, 2018)