

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: Ochrana životního prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Eliška Benešová**

Zhodnocení funkčnosti ekoduktů s využitím GIS  
Evaluation of the functionality of ecoducts using GIS

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: Ing. Luboš Matějčík, Ph.D.

Praha, 2024

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 29. 4. 2024

Eliška Benešová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce, Ing. Luboši Matějčíkovi, Ph.D., za ochotu a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří také mé rodině, zejména pak drahé polovičce, za podporu během celého studia.

## Abstrakt

Práce se zabývá hodnocením ekoduktů s využitím GIS, reprezentovaných softwarovým nástrojem ArcGIS Pro. Představujeme nový, systematický pohled na hodnocení ekoduktů, který je přímo aplikovatelný také v procesu plánování jejich výstavby. Docházíme k závěru, že většina ekoduktů na území České republiky není vybudována bezvýhradně správně z hlediska jejich primárního účelu. Zároveň však většina těchto ekoduktů splňuje alespoň některá hodnocená kritéria; můžeme tedy rozumně předpokládat jejich využití s nižší preferencí. Práce poskytuje základ pro tento pohled a je možné ji rozšířit přidáním dalších hodnocených kritérií. Správnost metod a výsledků této práce by mělo být možné ověřit terénním výzkumem.

**Klíčová slova:** ekodukt, GIS, dálkový průzkum Země, fragmentace, architektura, lineární infrastruktura

# Abstract

This thesis deals with the evaluation of ecoducts using GIS, represented by the ArcGIS Pro software tool. We present a new, systematic view on the evaluation of ecoducts, which is directly applicable also in the process of planning their construction. We conclude that the majority of ecoducts in the Czech Republic is not built in an unquestionably correct way in terms of their primary purpose. At the same time, however, most of these ecoducts meet at least some of the assessed criteria; we can therefore reasonably assume that they will be used, albeit with a lower preference. The thesis provides a basis for this view and can be expanded by adding additional evaluated criteria. The validity of the methods and results of this work should be verifiable by field research.

**Key words:** ecoduct, GIS, remote sensing, fragmentation, architecture, linear infrastructure

# Obsah

1 Úvod .....	7
1.1 Cíl práce .....	9
2 Ekodukty a možnosti jejich hodnocení v GIS.....	10
2.1 Vhodné parametry ekoduktů .....	11
2.1.1 Migrační koridory .....	12
2.1.2 Lidská činnost.....	13
2.1.3 Tvar a velikost .....	14
2.1.4 Odhlučnění.....	16
2.1.5 Vegetační úprava .....	17
3 Omezení.....	19
4 Hodnocení ekoduktů v České republice .....	20
4.1 Migrační koridory .....	20
4.2 Lidská činnost.....	23
4.2.1 Manuální hodnocení, vizuální identifikace .....	23
4.2.2 Překrytí.....	24
4.2.3 Strojové učení .....	25
4.3 Velikost ekoduktů .....	26
5 Diskuse.....	28
6 Závěr a shrnutí výsledků.....	29
7 Seznam použité literatury .....	30
8 Seznam obrázků .....	42
9 Seznam grafů.....	42
10 Seznam tabulek .....	42
11 Fotografická příloha .....	43

# 1 Úvod

Prostupnost je jednou ze základních vlastností krajiny a hraje klíčovou roli při naplnění základních biologických a ekologických potřeb živých organismů (Haddad et al., 2015). Tato důležitá vlastnost je však již několik desetiletí zhoršována fragmentací krajiny (Haddad et al., 2015), tedy degradací přirozených biotopů a jejich rozdělením na menší části působením přírodních a antropogenních procesů (Hagen et al., 2012). Příkladem přirozené fragmentace je sopečná erupce, při které se láva vylíje do okolního prostředí, a tím vytváří fyzickou bariéru rozdělující původní stanoviště na menší, izolované fragmenty (Hagen et al., 2012). V kontextu této práce se však blíže zaměříme na fragmentaci způsobenou antropogenní činností a možnosti jejího řešení.

Bez vhodného řešení tohoto problému může docházet k nežádoucím změnám zasažených ekosystémů (Haddad et al., 2015) a souvisejících druhů živočichů (Segelbacher et al., 2003). Tento problém vzniká v důsledku omezení jejich volného pohybu a migrace – čímž dochází k izolaci různých populací stejného druhu (Segelbacher et al., 2003), křížení s příbuzenskými partnery a nedostatečné variabilitě genů (Holderegger, Di Giulio, 2010), která způsobuje vyšší riziko výskytu dědičných vad (Jovanović et al., 2009). To by záhy mohlo způsobit zvýšenou úmrtnost tohoto druhu (Jovanović et al., 2009). Dalším dopadem fragmentace krajiny je vznik okrajových částí rozdělených území, které představují neobyvatelný biotop pro původní druhy a zároveň je u nich zvýšená pravděpodobnost osídlení druhy invazivními; ty mohou svou činností ovlivňovat i nepoškozené území (Primack, Morrison, 2013). Lineární infrastruktura, tedy silnice a železnice, mají největší dopad na konektivitu krajiny (Van Bohemen, 1998). Bylo vyvinuto více způsobů, jak snížit dopady těchto staveb. Pro naše účely je můžeme rozdělit na preventivní a nápravná opatření.

Jako preventivní opatření v této práci označujeme taková řešení problému, která zamezí vzniku infrastruktury vedoucí k fragmentaci na území konkrétního biotopu. Do tohoto opatření řadíme vyhlášení zvláště chráněných území podle zákona č. 114/1992 Sb., O ochraně přírody a krajiny, který vymezuje dva typy území – maloplošná a velkoplošná (Ministerstvo životního prostředí, 1992). Do velkoplošných území jsou zahrnuty národní parky (NP) a chráněná krajinná oblast (CHKO). Větší část tvoří maloplošná území, mezi které řadíme národní přírodní rezervaci (NPR), přírodní rezervaci (PR), národní přírodní památku (NPP) a přírodní památku (PP) (Ministerstvo životního prostředí, 1992). Tato opatření se však vyhláší jen v případě, že biotop splňuje stanovené podmínky, jako je např. přítomnost zvláště chráněných druhů živočichů či rostlin (Ministerstvo životního prostředí, 2011). V naší práci se dále tímto opatřením nebudeme zabývat, je zde uvedeno pouze pro celistvost.

V kontextu naší práce jsou významná následná opatření, která zavádíme, abychom zmírnili negativní dopady plánované nebo již vystavěné infrastruktury (Clevenger, Wierzchowski, 2006). Konkrétně využíváme opatření jako jsou podchody, viadukty či nadchody. Nadchody budeme dále označovat jako ekodukty. Funkčnost těchto opatření je však ovlivněna mnoha faktory, jako jsou např. samotné umístění stavby, tvar a rozměry konstrukce, stínění hluku z dopravy a vhodná vegetace na této stavbě (Denneboom et al., 2021).



## 1.1 Cíl práce

Cílem práce je zhodnocení funkčnosti ekoduktů, které byly vystavěné na území České republiky. Funkčnost je hodnocena podle definovaných parametrů a jejich měření je prováděno pomocí geoinformačního systému, dále jen GIS. Seznam parametrů ovlivňujících funkčnost ekoduktů a možnosti jejich hodnocení pomocí GIS jsou uvedeny v teoretické části práce. Praktická část práce aplikuje poznatky z teoretické části na ekodukty České republiky. V souvislosti se stanoveným cílem můžeme také stanovit následující otázky a hypotézy:

1. Protínají ekodukty budované v České republice migrační koridory?
2. Jsou ekodukty využívány k jejich původnímu účelu?
3. Splňují ekodukty minimální doporučenou šířku a index otevřenosti?

$H_0$ : Neexistuje silný vztah mezi ideálními parametry ekoduktu a reálnými projekty na území České republiky, ekodukty jsou tedy převážně budovány neúčelně.

$H_1$ : Existuje silný vztah mezi ideálními parametry ekoduktu a reálnými projekty na území České republiky, ekodukty jsou tedy převážně budovány účelně.

## 2 Ekodukty a možnosti jejich hodnocení v GIS

V této části stanovujeme ideální parametry ekoduktů a možnosti jejich hodnocení v GIS. Za tímto účelem definujeme přesnější zaměření této práce, významné zejména pro její praktickou část.

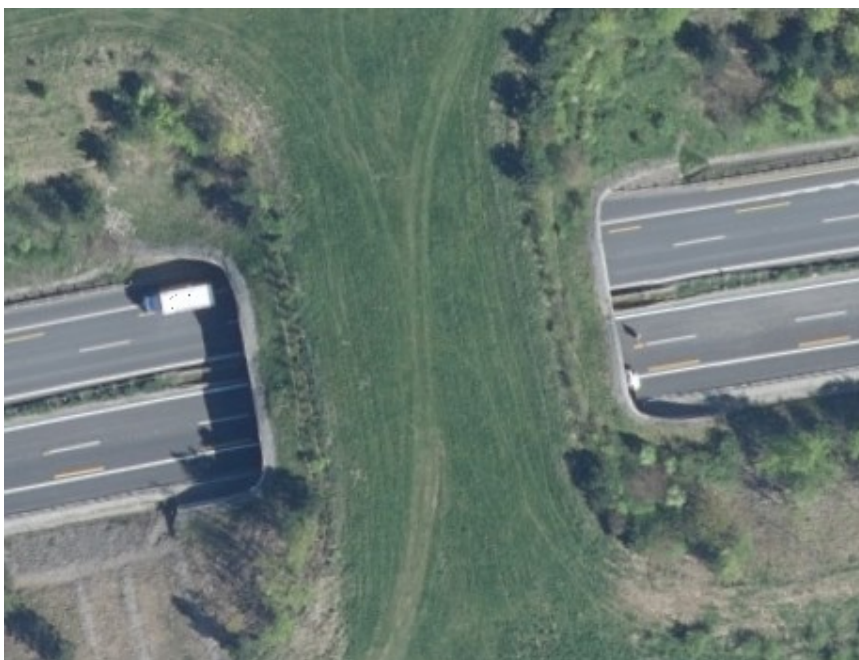
Alternativním řešením prostupnosti krajiny jsou kromě ekoduktů i již výše zmíněné viadukty a podchody (Denneboom et al., 2021), jejich hodnocení pomocí GIS je však problematické vzhledem k jejich prostorovým dispozicím. GIS je orientovaný zejména na dálkový průzkum země a ortofoto mapy, tedy pohled z vrchu (Lü et al., 2019), který pro hodnocení převážně vertikálních struktur není vhodný. Navíc je těchto struktur více a rozdílného stáří, získat jejich kompletní výčet a hodnotit individuálně jejich parametry by bylo velmi obtížné. Navíc jsou tyto stavby budovány původně s různým účelem (Strasky, 2015).

Ekodukty, pokud se jedná o stavby primárně budované jako ekodukty, je v tomto směru snazší zařadit a dohledat právě podle účelu a příslušné evidence (Ředitelství silnic a dálnic, 2024). Toto rozdělení je pouze technické, resp. úřední povahy. Stejnému účelu mohou sloužit ryze infrastrukturní stavby, budované za jiným účelem (např. tunely umožňující zachovat původní ráz krajiny nad nimi) (Ředitelství silnic a dálnic, 2018). Právě jiný účel výstavby je však činí z hlediska hodnocení jejich vlastností bezpředmětnými – nejedná se o záměrné řešení fragmentace krajiny a nemá tedy smysl hodnotit účelnost budování těchto staveb, jestliže je jejich účel již zajištěn rozdílnou primární funkcí.

V České republice je podle mapy ředitelství silnic a dálnic (2024) vybudováno k 1. 1. 2024 celkem 29 ekoduktů; hodnocením právě těchto ekoduktů se budeme zabývat v praktická části.

## 2.1 Vhodné parametry ekoduktů

Vhodné parametry ekoduktů se liší dle jejich typu. Ten by měl poté odpovídat potřebám lokální fauny. V praxi se tedy můžeme setkat například s lanovými přechody pro opice (*Simiiformes*) spojujícími stromy na protilehlých stranách silnice či s pouhými svislými tyčemi pro druhy, jako jsou poletuchy (*Biswamoyopterus*). Tyto konstrukce jsou však významně odlišné od přechodů pro velké savce, jak je popisuje Smith et al. (2015). V kontextu této práce se budeme zabývat typem, který je běžně stavěn v podmínkách typických pro Českou republiku (viz Obr. 1). Výhodu tohoto typu ekoduktu je jeho rozmanitost využití širší skupinou živočichů (Mysťajek et al., 2020). Aby však ekodukt sloužil svému účelu je důležité si nejdříve zvolit skupinu druhů, pro které by měl primárně tento přechod sloužit (Smith et al., 2015); většinou se jedná o tak zvané deštníkové druhy, tedy druhy s vazbou na okolní ekosystémy, jejichž ochranou zároveň chráníme i ostatní druhy (Breckheimer et al., 2014). Každý druh klade jiné nároky na strukturu a složení okolního prostředí, a proto je nutné tyto nároky implementovat i do návrhů stavby ekoduktů (viz kapitola 2.1.5).



Obr.1: Ekodukt Jenišov

(vlastní zpracování; data: ortofoto ČR; Zeměměřický úřad, 2024)

### 2.1.1 Migrační koridory

Migrace je přirozenou součástí živočišné říše. Zvířata migrují z různých důvodů, ať už jde o predaci (McKinnon et al., 2010; Skov et al., 2013), vytlačení konkurenčním druhem, energetické požadavky (Alerstam, Bäckman, 2018) či rozmnožování (Arai, 2020). V důsledku těchto důvodů je nutné zachovávat mezi jednotlivými populacemi či stanovišti výskytu ekologickou konektivitu (Taylor et al., 1993); tedy propojení pomocí vhodných koridorů. Ekologickou síť, která propojuje oblasti již existujících nebo potenciálních míst, kde se vyskytují nebo mohou vyskytovat sledované druhy, lze reprezentovat uměle stanovenými migračními koridory (Romportl et al., 2013). Tyto koridory mohou sloužit jako nástroj pro ochranu vyhrazených stanovišť nebo, zejména v kontextu této práce, jako ukazatel vhodných míst pro stavbu ekoduktů.

Pomocí GIS můžeme vytvářet právě takové migrační koridory, propojující vhodná stanoviště pro sledovaný druh (Iverson et al., 2024). Jedním z postupů je využití teorie grafů (Loro et al., 2015; Bunn et al., 2000), kdy si krajinu můžeme představit jako síť stanovišť. Tato stanoviště představují uzly spojnicového grafu. Spojnicemi jsou v tomto případě různě vhodné cesty mezi jednotlivými stanovišti (Urban, Keitt, 2001). Nejvhodnější spojnice nebo cesty v grafu budeme označovat jako cesty s nejnižšími náklady. V rámci této aplikace teorie grafů je hlavním cílem určit frekvenci výskytu specifických druhů zvěře na jednotlivých spojnicích a současně identifikovat cestu s nejnižšími náklady (Loro et al., 2015). Tato optimalizovaná cesta je určena na základě kritérií, která nejlépe odpovídají požadavkům na přirozený habitat sledovaného druhu (Li et al., 2010). Pro vytvoření cesty s nejnižšími náklady je nutné nejprve identifikovat relevantní kritéria pro sledovaný druh a následně jim přiřadit číselnou hodnotu tak, aby číselná hodnota reprezentovala naplnění těchto kritérií v příslušné oblasti. Mělo by tak dojít k vytvoření de facto mapové vrstvy obsahující číselné atributy, jejichž vyšší hodnota znamená dražší, tedy méně ideální cestu (LaRue, Nielsen, 2008; Adriaensen et al., 2003). Uvedená kritéria lze v systému GIS konfigurovat například pomocí nástroje, který je obecně označován jako *Fishnet tool* (Panagoda, Weerasinghe, 2019). Pro usnadnění analýzy pomocí cesty s nejnižšími náklady byly vyvinuty automatizované nástroje; pro systém ArcGIS byl vytvořen mimo jiné nástroj s názvem Cost Path (Esri, 2024).

Studie využívající teorii grafů s nalezením cesty s nejnižšími náklady hodnotí současný stav krajinného pokryvu a stavu koridorů. Nástroje GIS však nabízí i dlouhodobé sledování stavu

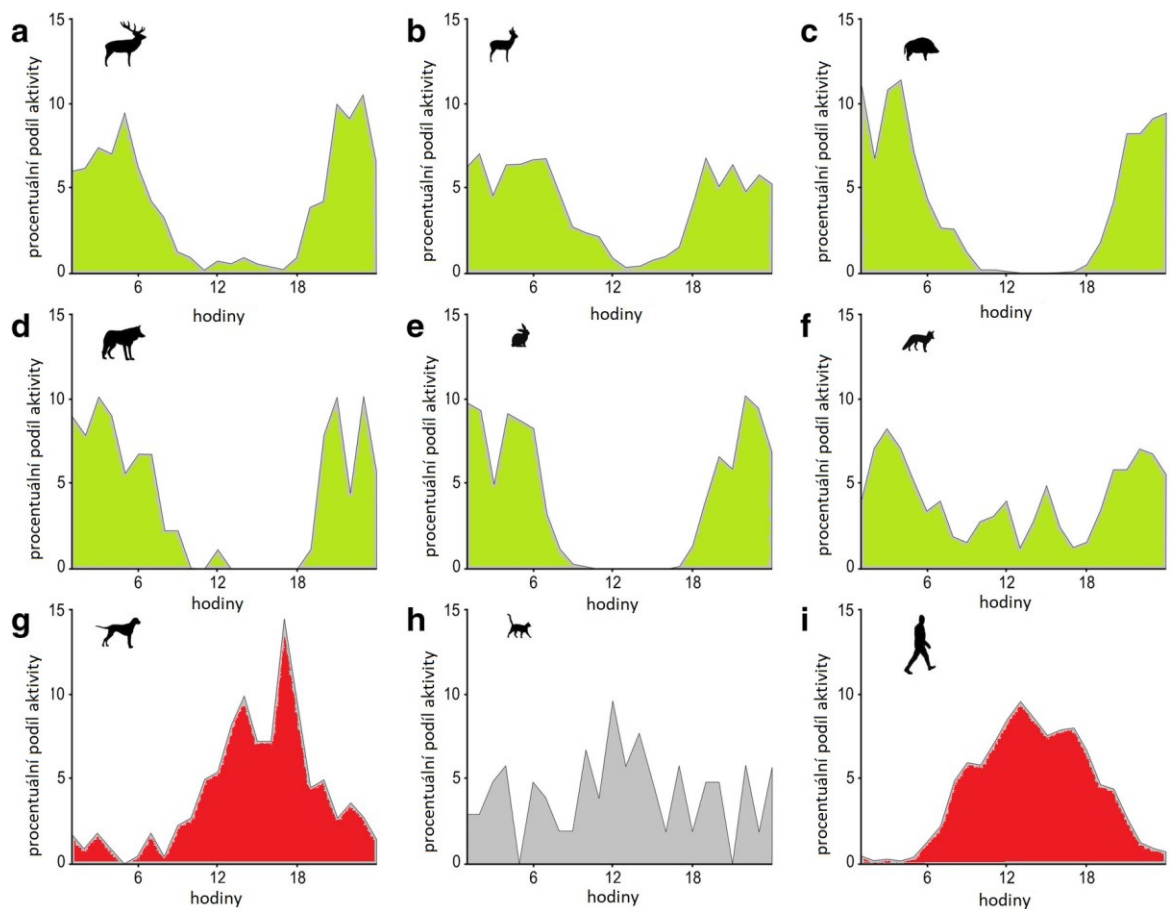
koridoru s využitím časových satelitních snímků z různých let. Po analýze těchto snímků je možné posoudit změny koridoru v průběhu času (Martin et al., 2019; Nandy et al., 2007; Bukombe et al., 2022).

Mapy konektivity krajiny se využívají i k plánování výstavby ekoduktů (Clevenger et al., 2002; Del Greco et al., 2022). Zmíněné studie dále mapy konektivity krajiny doporučují k vyhodnocení již vystavěných ekoduktů. Tuto metodu využili Paemelaere et al. (2023) při vyhodnocení efektivity podchodů, ale žádná z námi nalezených studií tuto metodu nevyužila konkrétně pro hodnocení ekoduktů.

### 2.1.2 Lidská činnost

Lidská činnost je jednou z významných proměnných ve využívání struktur pro přechod zvěří. Podle Obr. 2 můžeme předpokládat negativní korelaci přítomnosti člověka s využíváním struktury zvěří (Mysłajek et al., 2020). Tuto teorii podporuje i další studie (Denneboom et al., 2021), ve které byla na základě více studií prokázána 15,9krát vyšší účinnost struktur využívaných pouze zvěří oproti strukturám postaveným pro dvojí využití. Tato proměnná však nemusí být vždy rozhodujícím faktorem pro preferenci přechodu danými druhy. V případě struktur pro přechod zvěře více vzdálených od oblastí s významnou lidskou činností je tento faktor natolik nevýznamný, že může být zcela zanedbán při vyhodnocení funkčnosti ekoduktů (Clevenger, Waltho, 2005). Lidská činnost může být také kompenzována ostatními parametry přechodu (Barrueto et al., 2014).

Vagić et al. (2022) navrhuje k vyhodnocení účinnosti ekoduktů využití kamerových systémů a strojového učení při identifikaci objektů pohybujících se po stavbě. Ačkoliv byla tato metoda primárně určena pro identifikaci zvěře, která přechází přes tyto stavby, je možné rozumně předpokládat, že by mohla být použita i pro hodnocení, zda ekodukt využívají lidé.



Obr. 2: Denní aktivita vybraných druhů volně žijících a domácích zvířat a lidí na přechodech pro zvěř. (a) Jelen evropský (*Cervus elaphus*). (b) Srnčí zvěř (*Capreolus*). (c) Prase divoké (*Sus scrofa*). (d) Vlk (*Canis*). (e) Zajíc polní (*Lepus europaeus*). (f) Liška obecná (*Vulpes vulpes*) nebo psík mývalovitý (*Nyctereutes procyonoides*). (g) Pes domácí (*Canis familiaris*). (h) Kočka domácí (*Felis catus*). (i) Lidé. (převzato z Mysłajek et al., 2020, upraveno)

### 2.1.3 Tvar a velikost

Tvar ekoduktu by měl společně s oplocením udržet zvěř mimo vozovku a zároveň ji navést k překročení této infrastruktury bezpečným a kontrolovaným způsobem; měl by tedy mít takzvaný nálevkovitý tvar (Beben, 2016; Smith et al., 2015). Důležitým faktorem je však i sklon vybudovaného ekoduktu. Pokud je sklon příliš velký a jeho následkem je pro zvěř nemožné vidět na protější stranu ekoduktu, může se zvěř rozhodnout raději takovouto strukturu nepřekračovat. Rozdíl výšky ekoduktu na jeho stranách a v jeho středu by z tohoto důvodu neměl přesáhnout jeden metr (Beben, 2016).

Dalším významným atributem pro stavbu, a tedy i hodnocení vystavěných ekoduktů, je šířka. Více dále uvedených studií tento parametr uvádí jako jeden z rozhodujících pro využívání těchto staveb zvíř. Ačkoliv by se mohla zdát preference druhů pro konkrétní šířku rozdílná, jak uvádí Saxena a Habib (2022), můžeme spekulovat, že rozdíly ve využívání různě širokých staveb různými druhy je možné vysvětlit omezeným výběrem ostatních možností pro překročení infrastruktury některými ze sledovaných druhů. Ve stejné studii je totiž dále uváděna rostoucí biodiverzita druhů využívajících tuto strukturu s její rostoucí šířkou a na šířce 750 m je shledána stejná biodiverzita jako v jejím okolí (Saxena, Habib, 2022). Pokud by skutečně rozdílné druhy preferovaly rozdílnou šířku ekoduktů, mohli bychom s rostoucí šířkou očekávat významné změny skupin druhů využívajících ekodukt, ale ne změny velikosti těchto skupin až do teoretického maxima, kterým je biodiverzita okolní krajiny. Pokud bychom se měli zaměřit na druhy, které se běžně vyskytují na území České republiky, vždy je uváděna pozitivní korelace využití těchto struktur se vzrůstající šířkou. Jedná se zejména o druhy jako jsou jeleni (*Cervus*), lišky (*Vulpes*), prasata (*Sus*), zajáci (*Lepus*) a obecně psovité šelmy (*Canidae*) (Mata et al., 2008; Denneboom et al., 2021; Wang et al., 2018; Clevenger, Waltho, 2005). Obecné doporučení na základě více studií je minimální šířka ekoduktů 50 m (Brennan et al., 2022; Beben, 2016; Smith et al., 2015). Tato šířka ale nemusí být vždy fixní; můžeme se setkat s doporučením o minimální šířce sedm metrů (Choi et al., 2012). Tento rozdíl je způsobený rozdílnou šířkou silnice, na které je daný ekodukt vystavěn. Doporučení šířky minimálně 50 m tedy patrně souvisí s typem infrastruktury, přes kterou jsou zkoumané ekodukty v příslušných studiích vedeny. S šířkou ekoduktu je proto většinou zmiňován i index otevřenosti (Choi et al., 2012; Mata et al., 2008; Brennan et al., 2022). Index otevřenosti je definován jako podíl součinu šířky a výšky konstrukce s délkou (Mata et al., 2008). Tato definice je stanovena pro přechodové konstrukce typu podchod, a proto se modifikuje bez využití jedné z jednotek; tedy výšky (Mata et al., 2008). Pro funkčnost ekoduktu je udáván index otevřenosti 0,7 nebo 0,8 (Choi et al., 2012; Brennan et al., 2022). Stejně jako u šířky ekoduktu je s rostoucím indexem otevřenosti sledována pozitivní korelace s využitím této stavby zvíř (Ford et al., 2017).

Vzdálenost lze v systémech GIS měřit několika způsoby. Náš zvolený způsob měření vzdálenosti v praktické části práce je nástroj *Distance And Direction (velikost a směr)* (ESRI, 2024a) s použitím geodetického měření, které je dodavatelem tohoto softwarového nástroje uváděno jako přesnější oproti planárnímu měření (ESRI, 2024b).

#### 2.1.4 Odhlučnění

Antropogenní hluk je považován za jeden z nejvýznamnějších dopadů silnic, především dálnic, na ekosystémy (Coffin, 2007). Hlukem jsou ovlivněny zejména takové druhy, které se dorozumívají pomocí zvuků o stejné frekvenci; například ptáci (Hao et al., 2024). Negativní dopady hlukového znečištění můžeme pozorovat i na populacích savců (Iglesias et al., 2012; Ghadirian et al., 2019; Shannon et al., 2016; Clevenger, Waltho, 2005). Konkrétněji se zvěř vyhýbá místům, kde je hluk větší, než 40 dBA (Ghadirian et al., 2019; Shannon et al., 2016), i když místa odpovídají jejich přirozenému biotopu (Ghadirian et al., 2019). Ačkoliv se námi zmíněné předchozí studie zabývaly dopadem hluku v okolí liniové infrastruktury, byly pozorovány i negativní dopady hluku na samotných ekoduktech (Clevenger, Waltho, 2005). Vyšší míra hluku na ekoduktech negativně korelovala s účinností ekoduktů podle průchodu zvěře nezávisle na druhu (Clevenger, Waltho, 2005, Olsson et al., 2008). Abychom zmírnili negativní dopad hluku ze silnic na zvěř přecházející přes ekodukt, stavíme na ekoduktech protihlukové bariéry. Protihluková bariéra by měla být primárně stavěna z přírodního materiálu (Sołowczuk, 2014; Denneboom et al., 2021). Plastový materiál, konkrétněji polyethylen, by se v tomto případě využívat neměl, neboť byl pro zvěř shledán jako odstrašující prvek (Brunen et al., 2020). Zároveň byla prokázána preference zvěře pro prvky s oblým tvarem (Denneboom et al., 2021). Společně s protihlukovými bariérami by měly být vystaveny zemní valy a správně zvolená vegetace (Sołowczuk, 2014; Sołowczuk, 2020), která dokáže snížit hluk na ekoduktech o několik desítek decibelů (Sołowczuk, 2014).

Systémy GIS jsou nezávisle na konkrétní technické implementaci shledány jako nejpoužívanější mapovací nástroje pro tvorbu hlukových map. Z veškerých GIS systémů je poté nejpoužívanějším programem ArcGIS od společnosti ESRI (Meller et al., 2023). Mapování hluku pomocí GIS se používá pro různé účely; jedním z účelů může být vyhodnocení míst, kde mají lidé větší pravděpodobnost konkrétních zdravotních potíží, způsobených právě nadměrným hlukem (Zafar et al., 2023). Dalším z účelů může být obecně vyhodnocení vlivů antropogenního hluku na



ekosystémy (Akay, Acar, 2019; Reed et al., 2012). Výhodou zpracování hlukových map v systémech GIS je dostupnost způsobu provedení interpolace i dat, které obsahují šum (Meller et al., 2023). K interpolaci dat z měření se poté obecně používají různé nástroje jako jsou RBF (*radial basis function*) (Esmeray, Eren, 2021) či IDW (*Inverse distance weighted*) (Oyedepo et al., 2019; Zafar et al., 2023). Pro mapování hluku byl v systému GIS vytvořen nástroj SPreAD-GIS; vyvinutý přímo pro odhad akustických účinků šíření antropogenního hluku (Akay, Acar, 2019). Tento nástroj využívá pro výpočet vzorců šíření různá data o okolních podmínkách prostředí, jako jsou krajinný pokryv, topografie a povětrnostní podmínky (Reed et al., 2012).

Ačkoliv většina studií využívá pro zobrazení hlukových map klasické 2D zobrazení (Meller et al., 2023), některé studie hlásí u 3D mapování lepší detekci šumu (Puyana-Romero et al., 2020) a výhody pro zkoumání hluku ve městech, zejména pak u výškových budov (Alam et al., 2021). V důsledku 3D mapování lze zkoumanou oblast zobrazit pod různými úhly (Pamanikabud, Tansatcha, 2009). Můžeme tak být schopni lépe vyhodnotit umístění či identifikovat neefektivitu protihlukových opatření (Puyana-Romero et al., 2020).

### 2.1.5 Vegetační úprava

Vegetační úprava a povrch ekoduktu mají potenciál ovlivnit preference využití ekoduktu jednotlivými sledovanými druhy. Pokud se jedná o hmyz (Jung et al., 2017; Jung et al., 2016), ptactvo (Pell, Jones, 2015; Jones, Pickvance, 2013), obojživelníky, plazy (McGregor et al., 2015) a malé savce (Stewart et al., 2020), je vyhodnocena pozitivní korelace využívání ekoduktu s množstvím vegetace na jeho povrchu. Studie zaměřené na velké savce vykazují zároveň preferenci zvěře pro ekodukty, v jejichž okolí se nachází vegetace (Azedo et al., 2022), ačkoliv na upřednostnění vegetace na samotném ekoduktu se názory liší. Hamilton et al. (2024) sledovali častější využívání se vzrůstající produktivitou rostlin u některých velkých i malých býložravců a šelem, jiné druhy těchto skupin však své využívání ekoduktů za stejných podmínek snížily. Komparativní studie od Denneboom et al. (2021) zároveň prokázala negativní vliv vegetačního pokryvu na využití ekoduktu velkými býložravci a preferenci těchto druhů pro viditelnost na opačnou stranu této konstrukce. Důvodem rozdílného výsledku těchto studií by mohl být rozdílný krajinný ráz. Navzdory těmto odlišným výsledkům můžeme vyvodit závěr, který by měl pokrývat největší počet sledovaných druhů; vegetace na ekoduktu by měla být umístěna na obou stranách

v lineárních pásech, alespoň 3-5 m širokých (Pell, Jones, 2015). Toto rozložení by mělo umožnit vegetační kryt pro ptáky a další výše zmíněné druhy a zároveň volný prostor uprostřed pro lepší viditelnost na druhou stranu ekoduktu. Osázením vegetace po stranách zároveň snížíme hluk z dopravy, jak je již uvedeno v kapitole 2.1.4.

Systémy GIS se běžně využívají při mapování vegetace a určení její změny v čase (Gándhí et al., 2015; Mohammadyari et al., 2015). Tyto mapy mají poté široké využití v mnoha odvětvích, ať už se jedná o plánování městské zeleně (Mohammadyari et al., 2015), o posouzení zdravotního stavu samotné vegetace (Frag et al., 2006) či o podklady pro ochranu živočichů (Serieys et al., 2021). Pro mapování v systémech GIS existuje celá řada vegetačních indexů (Lemenkova, 2021); nejpoužívanějším vegetačním indexem je však NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Huang et al., 2021). Ačkoliv je mapování vegetace v systémech GIS možné, žádná z nalezených studií se nazabývá její aplikací přímo na identifikaci pokryvu ekoduktů.

## 3 Omezení

I přes snahu o kvalitní a kompletní hodnocení funkčnosti ekoduktů má tato práce několik omezení, vyplývajících ze zvolených metod a obecné povahy této práce. Následuje jejich výčet.

V praktické části v kapitole 4.1 hodnotíme překrytí vybudovaných ekoduktů s migračními koridory. Migrační koridory se však někdy nachází nedaleko ekoduktu, který je výslednou analýzou hodnocen jako ekodukt nepřekrývající migrační koridor. Pokud bychom předpokládali určitou přizpůsobivost zvěře, mohou být tyto námi negativně hodnocené ekodukty využívány více, než ekodukty vzdálenější od migračních koridorů. V systémech GIS může být tento problém vyřešen pomocí nástroje *Buffer (obalová zóna)*, který vytvoří okolo migračních koridorů oblast v námi dané vzdálenosti, kterou by bylo možné následně uložit do nové vrstvy. Tuto novou vrstvu by bylo možné zanalyzovat pomocí nástroje *Intersect (průnik)* obdobným způsobem, jako v případě vrstvy *migrační koridory*. Toto omezení je zachováno v důsledku nedostupných podkladů, na základě kterých bychom mohli spolehlivě určit přijatelnou vzdálenost koridoru od vystavěného ekoduktu.

Kvalita hodnocení ekoduktů pomocí zde zvolených metod je silně závislá na kvalitě použitých dat, jejich dostupnosti, aktuálnosti a správné interpretaci. To také tyto metody odlišuje od terénního výzkumu přímo v daných lokacích. V některých případech tedy může být vhodné metody kombinovat.

Zde použité metody nabízí omezené možnosti hodnocení vertikálních parametrů, jako jsou výška a sklon. Tyto parametry může být možné s využitím GIS hodnotit, ale zaměření této práce je odlišné. Zároveň v této práci zanedbáváme další potenciálně významné vlivy, jako jsou vzdálenost od silnic nebo lidských sídel. Budoucí výzkum by tedy mohl práci rozšířit právě o tyto parametry a další související metody.

## 4 Hodnocení ekoduktů v České republice

Tato kapitola se zabývá hodnocením ekoduktů na území České republiky. Vycházíme přitom z poznatků v teoretické části. Zaměřujeme se na tři z pěti identifikovaných parametrů: umístění na migračních koridorech, lidskou činnost a velikost ekoduktů.

Jako podkladová mapa pro všechna zpracování byla použita ortofoto mapa České republiky z otevřených dat Zeměměřičského úřadu (2024).

### 4.1 Migrační koridory

Abychom zjistili, zda se migrační koridory protínají s vybudovanými ekodukty, využili jsme následující data:

- vrstvu s vyznačenými migračními koridory.
- Polygony překrývající ekodukty vystavěné v České republice.

Vrstva s vyznačenými migračními koridory, původním celým názvem Biotop zvláště chráněných druhů velkých savců, byla přidána do mapy z volně přístupných dat Agentury ochrany přírody a krajiny ČR (Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2023). Tuto vrstvu tvoří tři barevně odlišené sekce:

- migrační koridory.
- Kritická místa.
- Jádrová území.

Z těchto tří sekcí potřebujeme pro naši analýzu pouze *migrační koridory* a *kritická místa*, jimiž jsou označené body, kde se migrační koridory protínají s antropogenními barikádami – v našem případě se jedná o silnice. *Jádrová území* tedy můžeme z naší vrstvy odstranit a zároveň k usnadnění analýzy sjednotit dvě zbývající sekce (*migrační koridory* a *kritická místa*) v jednu.

Pro přípravu druhé vrstvy, polygonů překrývajících ekodukty vystavěné v České republice, byla v systému ArcGIS vytvořena geodatabáze s názvem *Ekodukty*. Do této databáze jsme postupně

přidali polygony odpovídající umístěním hodnoceným ekoduktům. Tyto polygony dále dělíme do tří typů:

- přírodní.
- Se silnicí.
- Jiný.

Tyto typy jsou přiřazovány na základě následujících kritérií: typ *přírodní* je udělován ekoduktům, jejichž povrch je shodný s okolním rázím krajiny. Na tomto typu není účelně vybudována žádná infrastruktura. Zároveň mezi ně řadíme i takové ekodukty, které tyto podmínky splňují, ale mohou být využívány pro přejezd zemědělské techniky. Typ *se silnicí* je udělen ekoduktům, jehož část zabírá účelně vybudovaná silnice vedená po celé jeho délce a také ekoduktům, na jejichž povrchu se nachází značená turistická či cyklistická trasa. Posledním typem je *jiný*; tento typ ekoduktu nelze zařadit ani do jednoho z předchozích typů. Jde o ekodukty s vybudovanou infrastrukturou jinou než silnice – v našem případě se jedná například o umělé vodní koryto.

Po vytvoření dvou vrstev z úvodu této kapitoly můžeme tyto vrstvy překrýt pomocí funkce *Intersect (průnik)*. Tato funkce nám vytvoří zcela novou vrstvu s vyznačenými ekodukty, které splňují podmínku překrytí s migračními koridory. V atributové tabulce této vrstvy jsou poté tyto ekodukty přehledně vypsány (viz Tab. 1 a Graf 1).

objekt	název	typ
1	Žehuň	se silnicí
2	Kletné	přírodní
3	Bílý Kostel nad Nisou	přírodní
4	Planá nad Lužnicí	přírodní
5	Janov	se silnicí
6	Nová Hospoda	se silnicí
7	Vitín	přírodní
8	Vitín	přírodní
9	Kamenice	přírodní
10	Kamenice	přírodní
11	Meziříčko	přírodní
12	Meziříčko	přírodní
13	Domašov	přírodní
14	Domašov	přírodní
15	Říčany	přírodní
16	Říčany	přírodní

Tab. 1: Ekodukty překrývající migrační koridory; (vlastní zpracování)

### Rozdělení ekoduktů překrývajících migrační koridory dle typu



Graf 1: Rozdělení ekoduktů překrývajících migrační koridory dle typu; (vlastní zpracování)

Touto analýzou jsme zjistili, že naši podmínku splňuje 11 vystavěných ekoduktů z celkově hodnocených 29. Pět ekoduktů je ve výsledku této analýzy duplicitně, vzhledem k malému počtu ale není nutné výsledek dále zpracovávat složitější metodou pro analýzu dat; duplicitní výsledky bylo možné identifikovat manuálně. Duplicita vznikla v důsledku vlastností vstupních vrstev a jinak neovlivňuje kvalitu výsledku. V příloze se dále nachází přehledná mapa, na které jsou zobrazeny dvě vrstvy; vrstva *migrační koridory* a vrstva ekoduktů splňující kritérium překrytí.

## 4.2 Lidská činnost

Na základě poznatků z kapitoly 2.1.2 můžeme předpokládat sníženou účinnost ekoduktů, které jsou často využívány člověkem. Při zkoumání ekoduktů systémem GIS se tedy zaměříme na takové ekodukty, na jejichž povrchu se nachází silnice, turistická nebo cyklistická trasa nebo jiné vizuální indikátory lidského využití těchto struktur. Specifické postavení má přitom polní cesta od zemědělské techniky. U této cesty totiž zřejmě dochází k využití člověkem, je však problematické určit četnost, a tedy reálný dopad, protože se nejedná o účelně vybudovanou komunikaci. Z tohoto důvodu tento typ využití nebudeme zohledňovat při hledání ekoduktů *se silnicí* a budeme je dále označovat jako *přírodní*. Naopak turistická trasa, která nemusí být ve své podstatě pozemní asfaltovou komunikací, má v důsledku možné vysoké četnosti využití podle poznatků z kapitoly 2.1.2 významný dopad. Budeme ji proto značit jako ekodukt *se silnicí*.

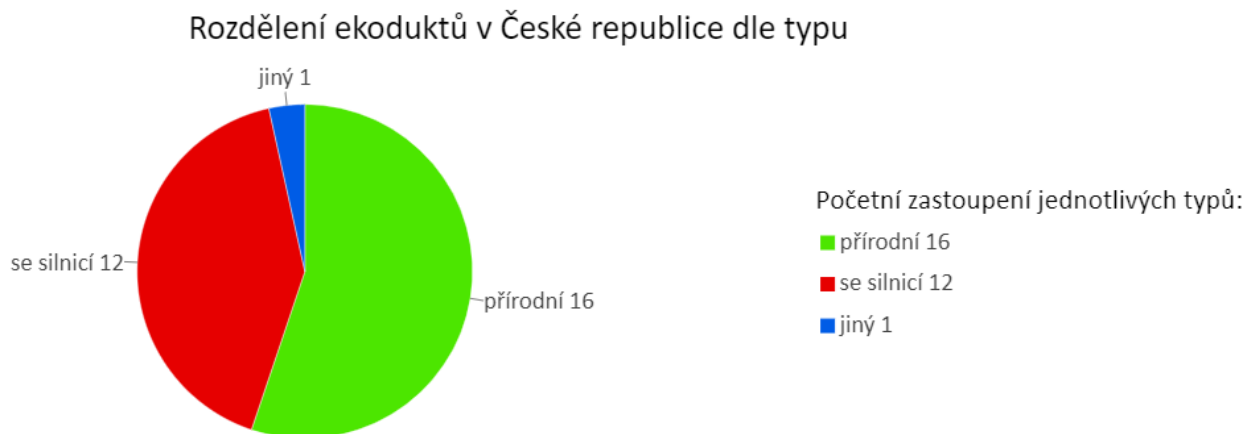
V naší práci navrhujeme tři metody, které bychom mohli pomocí systému ArcGIS využít ke klasifikaci ekoduktů do příslušných kategorií, a tedy také k hodnocení, zda je ekodukt využíván pouze zvěří nebo má dvojí využití.

### 4.2.1 Manuální hodnocení, vizuální identifikace

Jako manuální hodnocení je v této práci označováno takové hodnocení výsledků, kdy jsou všechna data jednotlivě prozkoumána a podle lidského uvážení zařazena do jednotlivých kategorií. Ačkoli se tato metoda spoléhá na vizuální identifikaci bez využití sofistikovaného algoritmu, je velice účinná, pokud se jedná o malý objem dat; s větším objemem dat nicméně vzrůstají nároky na pracovní sílu (Hasankhani, Navid, 2012). Manuální vyhodnocení umožňuje individuálně posoudit každý z ekoduktů a na základě stanovených kritérií mu přiřadit jeden

z typů, včetně typu „jiný“ pro formální označení ekoduktů, které není možné bezvýhradně zařadit do ostatních kategorií.

Manuální hodnocení je zpracováno v rámci přípravy jedné z vrstev v kapitole 4.1 Migrační koridory, kde představuje zásadní krok k pozdějšímu algoritmickému zpracování z pohledu dalšího hodnoceného kritéria. V kontextu této kapitoly se zaměříme zejména na zde významnější výsledek této klasifikace (viz graf 2.).



Graf 2.: Rozdělení ekoduktů v České republice dle typu; (vlastní zpracování)

Tento graf zobrazuje zastoupení jednotlivých, výše definovaných typů ekoduktů. Můžeme sledovat největší zastoupení ekoduktů přírodních a dále i velký počet ekoduktů, na jejichž povrchu se nachází účelně vybudovaná silnice, a jsou tedy zpravidla využívány i lidmi.

#### 4.2.2 Překrytí

Metoda překrytí využívá již připravená data nesoucí klíčové informace; těmi jsou v našem případě silniční síť, turistické trasy a polygony překrývající vybudované ekodukty. Tato data jsou reprezentována odpovídajícími vrstvami. Abychom zjistili, kolik ekoduktů je využíváno lidmi, využijeme překrytí dvou vrstev. Jednou z vrstev jsou polygony překrývající ekodukty, druhou je však nutné připravit využitím nástroje *Merge (spojení vektorových map)*. Pomocí tohoto nástroje získáme zcela novou vrstvu sjednocující silniční síť a turistické trasy. Výsledné překrytí získáme prostřednictvím dalšího nástroje, *Intersect (průnik)*, který aplikujeme na tuto sloučenou vrstvu a původní polygony překrývající vybudované ekodukty. Tento výsledný překryv reprezentuje veškeré ekodukty, na jejichž povrchu je vedena silniční síť nebo turistická trasa. Je tedy zřejmé,



že tyto ekodukty mohou být pravidelně využívány člověkem. V závislosti na kvalitě, resp. preciznosti přípravy dat však mohou vzniknout duplicity. Ty je možné odstranit standardními datovými metodami nad výstupní tabulkou.

Tuto metodu je možné modifikovat také pro nalezení pouze jednoho z typů infrastruktury na povrchu ekoduktů, tedy pouze silnic nebo pouze značených turistických tras. V rámci této modifikace se nevyužije nástroj *Merge (spojení vektorových map)* a jednoduše se vypustí jedna z vrstev, kterou si nepřejeme ve výsledcích zahrnout.

Výhodou této metody je nízká časová náročnost pro celou aplikaci metody včetně interpretace výsledků. Nevýhodou je pak přímá korelace kvality výsledků s kvalitou a úplností vstupních datových souborů. Zejména úplnost nebo dostupnost dat může omezit možnost využití této metody.

Vzhledem k omezené dostupnosti prokazatelně kvalitních dat a relativně malému počtu hodnocených ekoduktů tuto metodu nevyužijeme v této části. Využijeme ji však s určitou modifikací v části 4.2 Migrační koridory, kde bude s přihlédnutím k dostupným datům a složitějšímu manuálnímu vyhodnocení představovat nejhodnější metodu pro získání kvalitních výsledků. Tato aplikace zároveň na reálném příkladu potvrzuje funkčnost této metody.

#### 4.2.3 Strojové učení

Strojové učení má širokou škálu využití. Samotná využití na detekci mostů provedli pomocí GIS Nogueira et al. (2019). Ačkoliv se jedná o klasické mostní konstrukce, můžeme rozumně předpokládat, že obdobný postup bude možné aplikovat i v případě ekoduktů. Nevýhodou strojového učení je větší vstupní investice (Thompson et al., 2024), neboť je nutné nejprve vytvořit databázi vstupních prvků, které budou dále sloužit jako trénovací data. Poté je nutné provést natrénování těchto dat (Thompson et al., 2024), přičemž doba trénování může být silně závislá na výpočetním výkonu. Velkou výhodou oproti předchozím variantám však zůstává již zmíněné systematické řešení (Hasankhani, Navid, 2012).

### 4.3 Velikost ekoduktů

Velikost ekoduktů navazuje na poznatky získané z kapitoly 2.1.3 Tvar a velikost. Předpokládáme tedy, že doporučená velikost ekoduktů je podle odborné literatury minimálně 50 m. Dále byl určen minimální index otevřenosti 0,7 nebo 0,8.

Rozměry ekoduktů jsou měřeny v systému ArcGIS Pro s pomocí nástroje *Distance And Direction* (*velikost a směr*). Měření ekoduktů je prováděno podle postupu Brennan et al. (2022). Na základě tohoto postupu je šířka měřena jako vnitřní část ekoduktu přibližně v jeho středu, sloužící pro přechod a ohraničená na obou stranách oplocením. Jako hodnocenou délku definujeme délku vnějšího ohraničení, které je lépe viditelné na leteckých snímcích (viz Obr. 3 a Obr. 4).



Obr. 3: Měření ekoduktu Kletné s nálevkovitým tvarem

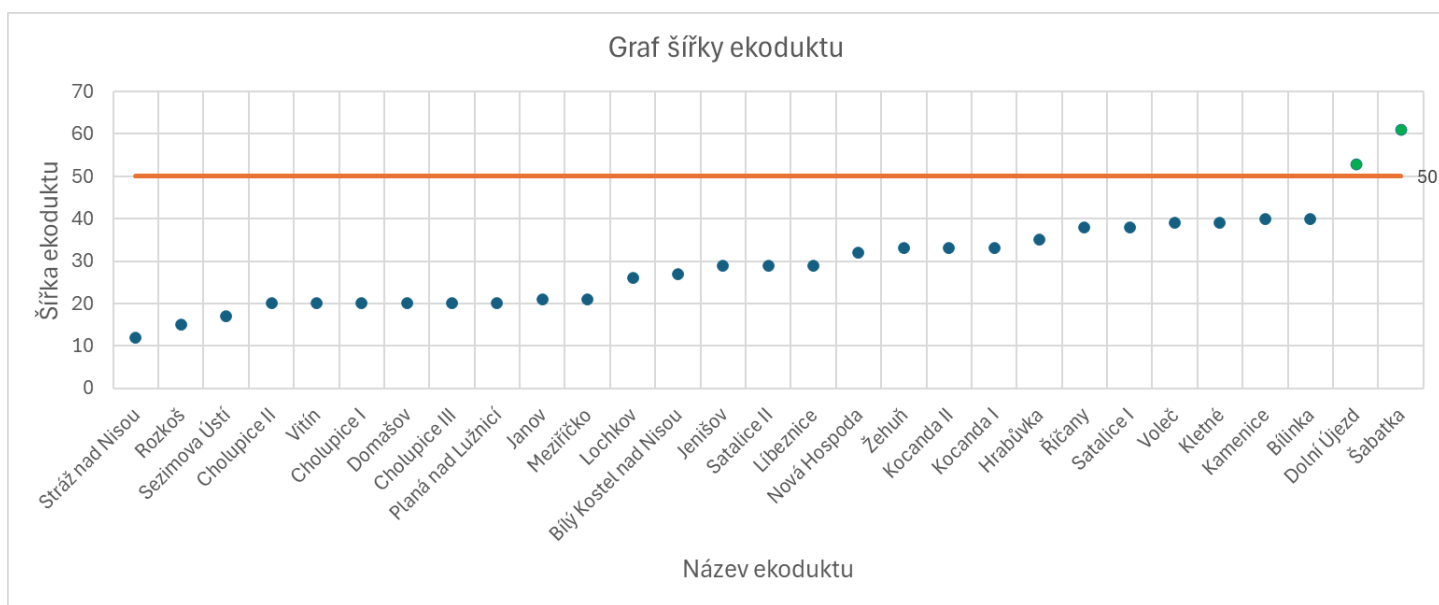


Obr. 4: Měření ekoduktu Sezimovo Ústí s rovinným tvarem.

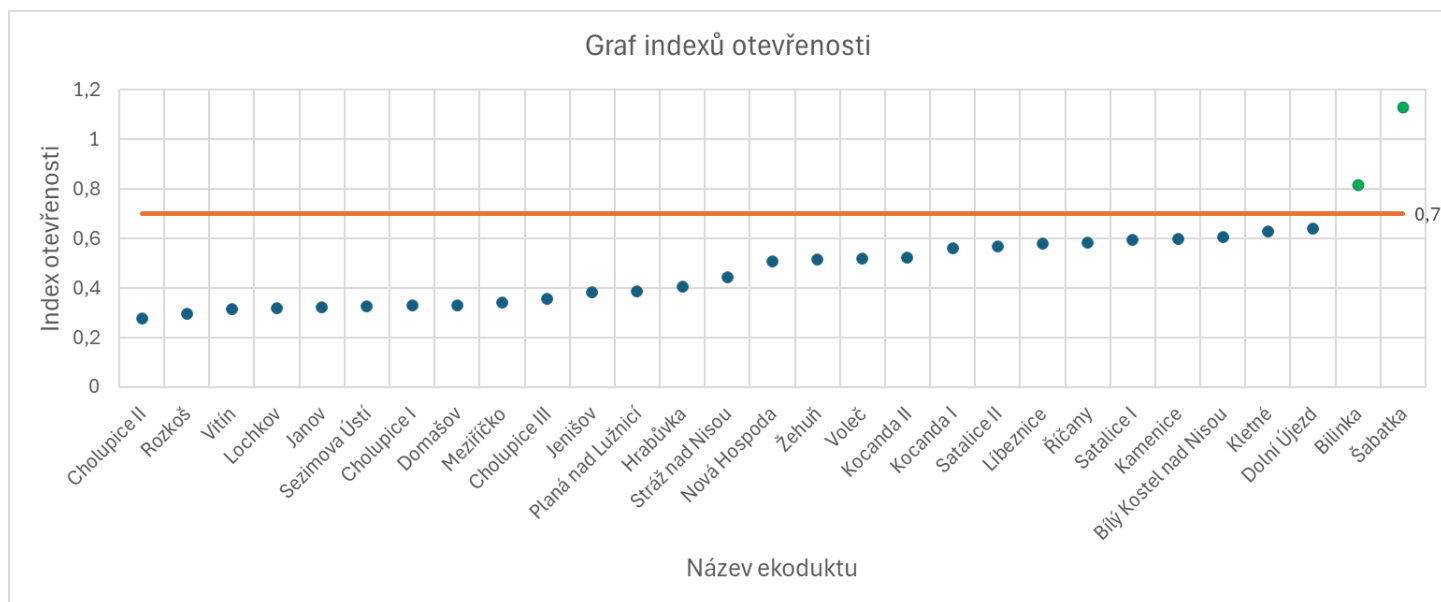
(vlastní zpracování; data: ortofoto ČR; Zeměměřický úřad, 2024)

Podle této metody jsme naměřili všech 29 vystavěných ekoduktů na území České republiky. V některých případech byla naměřena rozdílná délka ekoduktů na obou stranách. Tento rozdíl byl způsobený nesouměrnou konstrukcí ekoduktů. Délka u takových ekoduktů byla určena jako aritmetický průměr délek na obou stranách ekoduktu. Naměřené hodnoty délek a šířek ekoduktů byly zapsány do atributové tabulky, do které byl též přidán sloupec s názvem *Index otevřenosti*. Index otevřenosti byl následně spočítán pomocí nástroje *Calculate Field* (*vypočítat pole*), kde byl zadán následující příkaz pro výpočet: *!Šířka!/ !Délka!*. Tento způsob výpočtu je ekvivalentní k vzorci definovanému v kapitole 2.1.3 Tvar a velikost.

Výsledky měření a výpočty ukázaly, že doporučenou šířku 50 m splňují pouze dva ekodukty; ekodukt Šabatka s naměřenou šířkou 61 m a ekodukt Dolní Újezd s šířkou 53 m (viz Graf 3). Minimální index otevřenosti 0,7 splňují dva ekodukty. Jde o ekodukty Bílinka a Šabatka s vypočteným indexem otevřenosti zaokrouhleným na dvě desetinná místa 0,82 (Bílinka) a 1,13 (Šabatka) (viz Graf 4).



Graf 3: Naměřené hodnoty šířky ekoduktů v České republice a jejich srovnání s doporučenou šířkou.



Graf 4: Vypočítané hodnoty indexu otevřenosti ekoduktů v České republice a jejich srovnání s doporučeným indexem otevřenosti.

## 5 Diskuse

V této práci prezentujeme nový pohled na systematické hodnocení ekoduktů s využitím GIS. Zároveň tento pohled aplikujeme na ekodukty specificky v České republice, nikoli v globálním měřítku. Máme tak omezené možnosti porovnání výsledků s ostatními autory. V tomto smyslu je tato práce pilotním projektem, jehož platnost by bylo vhodné ověřit buď jinou metodou, jak navrhuje níže, nebo aplikací zde uvedených metod v ostatních regionech, kde je již hodnocení ekoduktů dostupné.

Správnost zde definovaných metod by bylo možné přímo ověřit terénním výzkumem, v rámci kterého by bylo zaznamenáno reálné využití zde hodnocených ekoduktů sledovanými druhy zvěře.

Přínosem této práce by měla být zejména možnost posuzovat funkčnost ekoduktů efektivně, tedy bez vynaložení nákladů souvisejících s terénním výzkumem a také s úsporou času. Zároveň by tato práce měla prezentovat univerzálně použitelné metody, ale pro rozdílné sledované druhy, typy krajiny nebo výrazně odlišné návrhy ekoduktů může být nutné tyto metody adaptovat.

Výsledky této práce ukazují na nedostatky v již vybudovaných ekoduktech. Přestože nemusí být možné tyto ekodukty bez vynaložení neúměrného úsilí upravit, metody v této práci je možné přímo použít i v procesu plánování nových ekoduktů. V důsledku toho je tato práce zároveň doporučením pro budoucí projekty, jejichž realizace zatím nebyla zahájena. Toto doporučení by mělo umožnit budovat ekodukty účelně, tedy s minimalizací souvisejících nákladů a s maximalizováním jejich přidané hodnoty podle jejich primárního účelu.

## 6 Závěr a shrnutí výsledků

V této práci prezentujeme nový, systematický pohled na hodnocení ekoduktů s využitím GIS. Kromě hodnocení již existující infrastruktury jsou dále zde uvedené metody přímo aplikovatelné v procesu plánování nových projektů stejného typu.

V úvodu jsme stanovili následující otázky; zde je nyní prezentujeme včetně odpovědí.

### 1. Protínají ekodukty budované v České republice migrační koridory?

Ekodukty v České republice protínají migrační koridory v 11 z 29 sledovaných případů, tedy přibližně z 38 %.

### 2. Jsou ekodukty využívány k jejich původnímu účelu?

Využití k původnímu účelu posuzujeme podle účelně vybudované infrastruktury na jejich povrchu, která jejich původní účel omezuje nebo vylučuje. K původnímu účelu dle stanoveného kritéria slouží 16 z 29 sledovaných ekoduktů, tedy přibližně 55 %. Jeden z ekoduktů nebylo možné zařadit jednoznačně.

### 3. Splňují ekodukty minimální doporučenou šířku a index otevřenosti?

Každé z kritérií splňují pouze dva ekodukty, přičemž pouze jeden ekodukt splňuje obě tato kritéria zároveň. Alespoň částečně tak splňuje tato kritéria přibližně 10 % sledovaných případů, bezvýhradně pak přibližně 3,4 %.

Žádný z ekoduktů nesplňoval všechna tři hodnocená kritéria.

Z hlediska hodnocení výsledků tedy přijímáme spíše nulovou hypotézu, ačkoli existuje i menší skupina ekoduktů podporující hypotézu alternativní.

Ekodukty, které byly námi hodnocené jako neúčelné, mohou stále plnit svou primární funkci. Můžeme však rozumně předpokládat, že účinnost takových ekoduktů bude menší.

Tuto práci by bylo možné rozšířit o další hodnocená kritéria nebo ověření výsledků skrze terénní výzkum. Zároveň jsou však zde uvedené metody přímo aplikovatelné na existující i plánované projekty, tedy k hodnocení ekoduktů i plánování jejich parametrů pro maximalizaci jejich přidané hodnoty podle jejich primárního účelu.

## 7 Seznam použité literatury

ADRIAENSEN, F., J. P. CHARDON, G. DE BLUST, E. SWINNEN, S. VILLALBA, H. GULINCK a E. MATTHYSEN, 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* [online]. 64(4), 233–247. ISSN 0169-2046. Dostupné z: doi:10.1016/S0169-2046(02)00242-6

Agentura ochrany přírody a krajiny, 2023. Biotop zvláště chráněných druhů velkých savců [online] [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: [https://gis-aopkcr.opendata.arcgis.com/datasets/e6343a1691604037bec5a47be7b3a2f6\\_14/explore?location=49.754361,15.618500,6.60](https://gis-aopkcr.opendata.arcgis.com/datasets/e6343a1691604037bec5a47be7b3a2f6_14/explore?location=49.754361,15.618500,6.60)

AKAY, A. E. a H. H. ACAR, 2019. Using GIS Techniques for Modeling Noise Propagation from Mechanized Harvesting Equipment. *European Journal of Forest Engineering* [online]. 5(2), 92–98. ISSN 2149-5637. Dostupné z: doi:10.33904/ejfe.635715

ALAM, P., K. AHMAD, A. H. KHAN, N. A. KHAN a M. H. DEGHANI, 2021. 2D and 3D mapping of traffic induced noise near major roads passing through densely populated residential area of South Delhi, India. *PloS One* [online]. 16(3), e0248939. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0248939

ALERSTAM, T. a J. BÄCKMAN, 2018. Ecology of animal migration. *Current Biology* [online]. 28(17), 968–972. ISSN 0960-9822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2018.04.043

ARAI, T., 2020. Ecology and evolution of migration in the freshwater eels of the genus *Anguilla* Schrank, 1798. *Heliyon* [online]. 6(10), e05176. ISSN 2405-8440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e05176

AZEDO, R., A. ILHÉU, S. SANTOS a P. G. VAZ, 2022. Carnivores cross irrigation canals more often through overpasses than through culverts. *Basic and Applied Ecology* [online]. 61, 53–67. ISSN 1439-1791. Dostupné z: doi:10.1016/j.baae.2022.03.004

BARRUETO, M., A. T. FORD a A. P. CLEVENGER, 2014. Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures. *Ecosphere* [online]. 5(3), 1–19. ISSN 2150-8925. Dostupné z: doi:10.1890/ES13-00382.1

BEBEN, D., 2016. Crossings Construction as a Method of Animal Conservation. *Transportation Research Procedia* [online]. 14, Transport Research Arena TRA2016, 474–483. ISSN 2352-1465. Dostupné z: doi:10.1016/j.trpro.2016.05.100

BRECKHEIMER, I., N. M. HADDAD, W. F. MORRIS, A. M. TRAINOR, W. R. FIELDS, R. T. JOBE, B. R. HUDGENS, A. MOODY a J. R. WALTERS, 2014. Defining and Evaluating the Umbrella Species Concept for Conserving and Restoring Landscape Connectivity. *Conservation Biology* [online]. 28(6), 1584–1593. ISSN 1523-1739. Dostupné z: doi:10.1111/cobi.12362

BRENNAN, L., E. CHOW a C. LAMB, 2022. Wildlife overpass structure size, distribution, effectiveness, and adherence to expert design recommendations. *PeerJ* [online]. 10, e14371. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:10.7717/peerj.14371

BRUNEN, B., C. DAGUET a J. A. G. JAEGER, 2020. What attributes are relevant for drainage culverts to serve as efficient road crossing structures for mammals? *Journal of Environmental Management* [online]. 268, 110423. ISSN 0301-4797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2020.110423

BUKOMBE, J., W. MAREALLE, J. KIMARO, H. KIJA, Pius KAVANA, V. KAKENGI, J. NINDI, J. KEYYU, J. NTALWILA, N. KILIMBA, F. BWENGE, A. NKWABI, A. LOWASSA, J. SANARE, M. MWITA, C. LEWERI, E. KOHI, L. MANGEWA, R. JUMA, R. OKICK a A. LOBORA, 2022. Viability assessment of the Wami-Mbiki Game Reserve to Nyerere National Park wildlife corridor in southern Tanzania. *Global Ecology and Conservation* [online]. 39, e02259. ISSN 2351-9894. Dostupné z: doi:10.1016/j.gecco.2022.e02259

BUNN, A. G, D. L URBAN a T. H KEITT, 2000. Landscape connectivity: A conservation application of graph theory. *Journal of Environmental Management* [online]. 59(4), 265–278. ISSN 0301-4797. Dostupné z: doi:10.1006/jema.2000.0373

CLEVINGER, A. a J. WIERZCHOWSKI, 2006. Maintaining and restoring connectivity in landscapes fragmented by roads. In: Connectivity Conservation. 502-535.: Cambridge University Press [online]. ISBN 978-0-521-67381-5. Dostupné z: doi:10.1017/CBO9780511754821

CLEVINGER, A. P. a N. WALTHO, 2005. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. Biological Conservation [online]. 121(3), 453–464. ISSN 0006-3207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2004.04.025

CLEVINGER, A. P., J. WIERZCHOWSKI, B. CHRUSZCZ a K. GUNSON, 2002. GIS-Generated, Expert-Based Models for Identifying Wildlife Habitat Linkages and Planning Mitigation Passages. Conservation Biology [online]. 16(2), 503–514. ISSN 1523-1739. Dostupné z: doi:10.1046/j.1523-1739.2002.00328.x

COFFIN, A. W., 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. Journal of Transport Geography [online]. 15(5), 396–406. ISSN 0966-6923. Dostupné z: doi:10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006F

DEL GRECO, F., C. TATTONI, M. GIBEAU, A. CLEVINGER, C. GROFF a M. CIOLLI, 2022. Cost benefit analysis to identify the best type and location for a wildlife crossing structure [online]. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.36637.59368

DENNEBOOM, D., A. BAR-MASSADA a A. SHWARTZ, 2021. Factors affecting usage of crossing structures by wildlife – A systematic review and meta-analysis. Science of The Total Environment [online]. 777, 146061. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146061

ESMERAY, E. a S. EREN, 2021. GIS-based mapping and assessment of noise pollution in Safranbolu, Karabuk, Turkey. Environment, Development and Sustainability [online]. 23(10), 15413–15431. ISSN 1573-2975. Dostupné z: doi:10.1007/s10668-021-01303-5

ESRI, 2024. Creating the least-cost path—ArcGIS Pro | Documentation [online] [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/spatial-analyst/creating-the-least-cost-path.htm>

ESRI., 2024a. Get started with Distance and Direction—ArcGIS AllSource | Documentation [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://doc.arcgis.com/en/allsource/latest/data/distance-and-direction-intro.htm>



ESRI., 2024b. Geodesic versus planar distance—ArcGIS Pro | Documentation [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/geodesic-versus-planar-distance.htm>

FARAG, F., O. AKASHEH a C. NEALE, 2006. Spatial Mapping of Riparian Vegetation Using Airborne Remote Sensing in a Gis Environment. Case Study: Middle Rio Grande River, New Mexico. In: J. A. MWAKALI a G. TABAN-WANI, ed. Proceedings from the International Conference on Advances in Engineering and Technology [online]. Oxford: Elsevier Science Ltd, 495–503. ISBN 978-0-08-045312-5. Dostupné z: doi:10.1016/B978-008045312-5/50054-6

FORD, A. T., M. BARRUETO a A. P. CLEVENGER, 2017. Road mitigation is a demographic filter for grizzly bears. *Wildlife Society Bulletin* [online]. 41(4), 712–719. ISSN 1938-5463. Dostupné z: doi:10.1002/wsb.828

GANDHI, G. M., S. PARTHIBAN, N. THUMMALU a A. CHRISTY, 2015. Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science* [online]. 57, 3rd International Conference on Recent Trends in Computing 2015 (ICRTC-2015), 1199–1210. ISSN 1877-0509. Dostupné z: doi:10.1016/j.procs.2015.07.415

GHADIRIAN, O., H. MORADI, H. MADADI, A. LOTFI a J. SENN, 2019. Identifying noise disturbance by roads on wildlife: a case study in central Iran. *SN Applied Sciences* [online]. 1(8), 808. ISSN 2523-3971. Dostupné z: doi:10.1007/s42452-019-0838-0

HADDAD, N. M., L. A. BRUDVIG, J. CLOBERT, K. F. DAVIES, A. GONZALEZ, R. D. HOLT, T. E. LOVEJOY, J. O. SEXTON, M. P. AUSTIN, C. D. COLLINS, W. M. COOK, E. I. DAMSCHEN, R. M. EWERS, B. L. FOSTER, C. N. JENKINS, A. J. KING, W. F. LAURANCE, D. J. LEVEY, Ch. R. MARGULES, B. A. MELBOURNE, A. O. NICHOLLS, J. L. ORROCK, D-X. SONG a J. R. TOWNSHEND, 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances* [online]. 1(2), e1500052. ISSN 2375-2548. Dostupné z: doi:10.1126/sciadv.1500052

HAGEN, M., W. D. KISSLING, C. RASMUSSEN, M. A. M. DE AGUIAR, L. E. BROWN, D. W. CARSTENSEN, I. ALVES-DOS-SANTOS, Y. L. DUPONT, F. K. EDWARDS, J. GENINI, P. R. GUIMARÃES, G. B. JENKINS, P. JORDANO, Ch. N. KAISER-BUNBURY, M. E. LEDGER, K. P. MAIA, F. M. D. MARQUITTI, Ó. MCLAUGHLIN, L. P. C. MORELLATO, E. J. O'GORMAN, K. TRØJELSGAARD, J. M.

TYLIANAKIS, M. M. VIDAL, G. WOODWARD a J. M. OLESEN, 2012. 2 - Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World. In: Ute JACOB a Guy WOODWARD, ed. *Advances in Ecological Research* [online]. Academic Press, *Global Change in Multispecies Systems Part 1*, 89–210. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-396992-7.00002-2

HAMILTON, K. M., T. BOMMARITO a J. S. LEWIS, 2024. Spatial and temporal factors influencing wildlife use of overpass crossing structures and landscape siphons along a major canal. *Biological Conservation* [online]. 292, 110481. ISSN 0006-3207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2024.110481

HAO, Z., Ch. ZHANG, L. LI, B. GAO, R. WU, N. PEI a Y. LIU, 2024. Anthropogenic noise and habitat structure shaping dominant frequency of bird sounds along urban gradients. *iScience* [online]. 27(2), 109056. ISSN 2589-0042. Dostupné z: doi:10.1016/j.isci.2024.109056

HASANKHANI, R. a H. NAVID, 2012. Potato Sorting Based on Size and Color in Machine Vision System. *Journal of Agricultural Science* [online]. 4(5), 235. ISSN 1916-9752. Dostupné z: doi:10.5539/jas.v4n5p235

HOLDEREGGER, R. a M. DI GIULIO, 2010. The genetic effects of roads: A review of empirical evidence. *Basic and Applied Ecology* [online]. 11(6), 522–531. ISSN 1439-1791. Dostupné z: doi:10.1016/j.baae.2010.06.006

HUANG, S., L. TANG, J. P. HUPY, Y. WANG a G. SHAO, 2021. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research* [online]. 32(1), 1–6. ISSN 1993-0607. Dostupné z: doi:10.1007/s11676-020-01155-1

CHOI, T. Y., B. G. YANG a D. G. WOO, 2012. The Suitable Types and Measures of Wildlife Crossing Structures for Mammals of Korea. *Journal of Environmental Impact Assessment* [online]. 21(1), 209–218. ISSN 1225-7184. Dostupné z: doi:10.14249/eia.2012.21.1.209

IGLESIAS, C., C. MATA a J. E. MALO, 2012. The Influence of Traffic Noise on Vertebrate Road Crossing Through Underpasses. *Ambio* [online]. 41(2), 193–201. ISSN 0044-7447. Dostupné z: doi:10.1007/s13280-011-0145-5

IVERSON, A. R., D. WAETJEN a F. SHILLING, 2024. Functional landscape connectivity for a select few: Linkages do not consistently predict wildlife movement or occupancy. *Landscape and Urban Planning* [online]. 243, 104953. ISSN 0169-2046. Dostupné z: doi:10.1016/j.landurbplan.2023.104953

JONES, D. N. a J. PICKVANCE, 2013. FOREST BIRDS USE VEGETATED FAUNA OVERPASS TO CROSS MULTI-LANE ROAD. *Oecologia Australis*. 17(1), 147–156. ISSN 2177-6199.

JOVANOVIĆ, S., M. SAVIĆ a D. ŽIVKOVIĆ, 2009. Genetic variation in disease resistance among farm animals. *Biotechnology in Animal Husbandry* [online]. 25(5-6-1), 339–347. ISSN 1450-9156, 2217-7140. Dostupné z: doi:10.2298/BAH0906339J

JUNG, J-K., Y. PARK, H. LEE, J-H. LEE, S-H. KOH, T. Y. CHOI a D. WOO, 2017. A comparison of diversity and composition of carabid beetles between overpasses and underpasses in fragmented forest areas. *Journal of Asia-Pacific Entomology* [online]. 20(4), 1267–1277. ISSN 1226-8615. Dostupné z: doi:10.1016/j.aspen.2017.08.019

JUNG, J-K., Y. PARK, S. K. LEE, H. LEE, Y-G. PARK, J-H. LEE, T. Y. CHOI a D. WOO, 2016. Response of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) to Vegetation Structure in Wildlife Crossings. *Korean Journal of Environment and Ecology* [online]. 30(2), 185–198. ISSN 1229-3857. Dostupné z: doi:10.13047/KJEE.2016.30.2.185

LARUE, M. A. a C. K. NIELSEN, 2008. Modelling potential dispersal corridors for cougars in midwestern North America using least-cost path methods. *Ecological Modelling* [online]. 212(3), 372–381. ISSN 0304-3800. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.10.036

LEMENKOVA, P., 2021. SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness. *Contemporary Agriculture* [online]. 70(1-2), 67–75. Dostupné z: doi:10.2478/contagri-2021-0011

LI, H., D. LI, T. LI, Q. QIAO, J. YANG a H. ZHANG, 2010. Application of least-cost path model to identify a giant panda dispersal corridor network after the Wenchuan earthquake—Case study of Wolong Nature Reserve in China. *Ecological Modelling* [online]. 221(6), 944–952. ISSN 0304-3800. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.12.006

LORO, M., E. ORTEGA, R. M. ARCE a D. GENELETTI, 2015. Ecological connectivity analysis to reduce the barrier effect of roads. An innovative graph-theory approach to define wildlife corridors with multiple paths and without bottlenecks. *Landscape and Urban Planning* [online]. 139, 149–162. ISSN 0169-2046. Dostupné z: doi:10.1016/j.landurbplan.2015.03.006

LÜ, G., M. BATTY, J. STROBL, H. LIN, A-X. ZHU a M. CHEN, 2019. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. *International Journal of Geographical Information Science* [online]. 33(2), 346–367. ISSN 1365-8816. Dostupné z: doi:10.1080/13658816.2018.1533136

MARTIN, E. H., R. R. JENSEN, P. J. HARDIN, A. W. KISINGO, R. A. SHOO a A. EUSTACE, 2019. Assessing changes in Tanzania's Kwakuchinja Wildlife Corridor using multitemporal satellite imagery and open source tools. *Applied Geography* [online]. 110, 102051. ISSN 0143-6228. Dostupné z: doi:10.1016/j.apgeog.2019.102051

MATA, C., I. HERVÁS, J. HERRANZ, F. SUÁREZ a J. E. MALO, 2008. Are motorway wildlife passages worth building? Vertebrate use of road-crossing structures on a Spanish motorway. *Journal of Environmental Management* [online]. 88(3), 407–415. ISSN 0301-4797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2007.03.014

MCGREGOR, M. E., S. K. WILSON a D. N. JONES, 2015. Vegetated fauna overpass enhances habitat connectivity for forest dwelling herpetofauna. *Global Ecology and Conservation* [online]. 4, 221–231. ISSN 2351-9894. Dostupné z: doi:10.1016/j.gecco.2015.07.002

MCKINNON, L., P. A. SMITH, E. NOL, J. L. MARTIN, F. I. DOYLE, K. F. ABRAHAM, H. G. GILCHRIST, R. I. G. MORRISON a J. BÊTY, 2010. Lower Predation Risk for Migratory Birds at High Latitudes. *Science* [online]. 327(5963), 326–327. Dostupné z: doi:10.1126/science.1183010

MELLER, G., W. M. DE LOURENÇO, V. S. G. DE MELO a G. DE CAMPOS GRIGOLETTI, 2023. Use of noise prediction models for road noise mapping in locations that do not have a standardized model: a short systematic review. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 195(6), 740. ISSN 0167-6369. Dostupné z: doi:10.1007/s10661-023-11268-9

Ministerstvo životního prostředí, 1992. Zákon 114/1992 Sb. O ochraně přírody a krajiny [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z:

[https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/58170589E7DC0591C125654B004E91C1/%24file/z114\\_1992.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/58170589E7DC0591C125654B004E91C1/%24file/z114_1992.pdf)

Ministerstvo životního prostředí, 2011. Metodika vyhlášení přírodních rezervací a přírodních památek [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vyhlasovani\\_prirodnich\\_rezervaci\\_metodika/\\$FILE/OZCHP-Metodika\\_vyhlasovani\\_%20PR\\_a\\_PP-20111222.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vyhlasovani_prirodnich_rezervaci_metodika/$FILE/OZCHP-Metodika_vyhlasovani_%20PR_a_PP-20111222.pdf)

MOHAMMADYARI, F., H. POURKHABAZ, M. TAVAKOLI a H. AGHDAR, 2015. Mapping Vegetation and monitoring its Changes using Remote Sensing and GIS Techniques (Case study: Behbahancity). Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR) [online]. 23(92), 23–34. ISSN 2588-3860. Dostupné z: doi:10.22131/sepehr.2015.13504

MYSŁAJEK, R. W., E. OLKOWSKA, M. WRONKA-TOMULEWICZ a S. NOWAK, 2020. Mammal use of wildlife crossing structures along a new motorway in an area recently recolonized by wolves. European Journal of Wildlife Research [online]. 66(5), 79. ISSN 1439-0574. Dostupné z: doi:10.1007/s10344-020-01412-y

NANDY, S., S. P. S. KUSHWAHA a S. MUKHOPADHYAY, 2007. Monitoring the Chilla–Motichur wildlife corridor using geospatial tools. Journal for Nature Conservation [online]. 15(4), 237–244. ISSN 1617-1381. Dostupné z: doi:10.1016/j.jnc.2007.03.003

NOGUEIRA, K., C. CESAR, P. H. T. GAMA, G. L. S. MACHADO a J. A. DOS SANTOS, 2019. A Tool for Bridge Detection in Major Infrastructure Works Using Satellite Images. In: 2019 XV Workshop de Visão Computacional (WVC): 2019 XV Workshop de Visão Computacional (WVC) [online]. 72–77 [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: doi:10.1109/WVC.2019.8876942

OLSSON, M. P. O., P. WIDÉN a J. L. LARKIN, 2008. Effectiveness of a highway overpass to promote landscape connectivity and movement of moose and roe deer in Sweden. Landscape and Urban Planning [online]. 85(2), 133–139. ISSN 0169-2046. Dostupné z: doi:10.1016/j.landurbplan.2007.10.006

OYEDEPO, S. O., G. A. ADEYEMI, O. C. OLAWOLE, O. I. OHIJEAGBON, O. K. FAGBEMI, R. SOLOMON, S. O. ONGBALI, O. P. BABALOLA, J. O. DIRISU, U. K. EFEMWENKIEKIE, T. ADEKEYE a C. N. NWAOKOCHA, 2019. A GIS – based method for assessment and mapping of noise pollution in Ota

metropolis, Nigeria. *MethodsX* [online]. 6, 447–457. ISSN 2215-0161. Dostupné z: doi:10.1016/j.mex.2019.02.027

PAEMELAERE, E. A. D., A. MEJÍA, S. QUINTERO, M. HALLETT, F. LI, Asaph WILSON, H. BARNABAS, A. ALBERT, R. LI, L. BAIRD, G. PEREIRA a J. MELVILLE, 2023. The road towards wildlife friendlier infrastructure: Mitigation planning through landscape-level priority settings and species connectivity frameworks. *Environmental Impact Assessment Review* [online]. 99, 107010. ISSN 0195-9255. Dostupné z: doi:10.1016/j.eiar.2022.107010

PAMANIKABUD, P. a M. TANSATCHA, 2009. Geoinformatic prediction of motorway noise on buildings in 3D GIS. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 14(5), 367–372. ISSN 1361-9209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2009.04.001

PANAGODA, P. A. B. G. a V. P. A. WEERASINGHE, 2019. A potential habitat corridor for Western Purple-faced Langur between Forest Reserves in Sri Lanka: GIS as a tool in connectivity modelling. *Acta Ecologica Sinica* [online]. 39(3), 194–201. ISSN 1872-2032. Dostupné z: doi:10.1016/j.chnaes.2018.12.007

PELL, S. a D. JONES, 2015. Are wildlife overpasses of conservation value for birds? A study in Australian sub-tropical forest, with wider implications. *Biological Conservation* [online]. 184, 300–309. ISSN 0006-3207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2015.02.005

PRIMACK, R. B. a R. A. MORRISON, 2013. Extinction, Causes of. In: Simon A LEVIN, ed. *Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition)* [online]. Waltham: Academic Press. 401–412. ISBN 978-0-12-384720-1. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-384719-5.00050-2

PUYANA-ROMERO, V., J. L. CUETO a R. GEY, 2020. A 3D GIS tool for the detection of noise hot-spots from major roads. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 84, 102376. ISSN 1361-9209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2020.102376

REED, S. E., J. L. BOGGS a J. P. MANN, 2012. A GIS tool for modeling anthropogenic noise propagation in natural ecosystems. *Environmental Modelling & Software* [online]. 37, 1–5. ISSN 1364-8152. Dostupné z: doi:10.1016/j.envsoft.2012.04.012

ROMPORTL, D., M. ANDREAS, P. ANDĚL, A. BLÁHOVÁ, L. BUFKA, I. GORČICOVÁ, V. HLAVÁČ, T. MINÁRIKOVÁ a M. STRNAD, 2013. Designing Migration Corridors for Large Mammals in the Czech

Republic. *Journal of Landscape Ecology* [online]. 6(1), 47–62. Dostupné z: doi:10.2478/v10285-012-0063-7

Ředitelství silnic a dálnic, 2018. Dálnice D8 [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: [https://rsd.cz/documents/38144/80614/rsd-publikace-D8\\_02-2018.pdf/?eed3a6f0-a176-db03-f56a-05424bc8eef6?t=1645021179860](https://rsd.cz/documents/38144/80614/rsd-publikace-D8_02-2018.pdf/?eed3a6f0-a176-db03-f56a-05424bc8eef6?t=1645021179860)

Ředitelství silnic a dálnic, 2024. Ekodukty na dálniční síti ČR [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://apdos.roadmedia.cz/Upload/Maps/21/rsd-mapa-A3-ekodukty.pdf?t=>

SAXENA, A. a B. HABIB, 2022. Crossing structure use in a tiger landscape, and implications for multi-species mitigation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. 109, 103380. ISSN 1361-9209. Dostupné z: doi:10.1016/j.trd.2022.103380

SEGELBACHER, G., J. HÖGLUND a I. STORCH, 2003. From connectivity to isolation: genetic consequences of population fragmentation in capercaillie across Europe. *Molecular Ecology* [online]. 12(7), 1773–1780. ISSN 1365-294X. Dostupné z: doi:10.1046/j.1365-294X.2003.01873.x

SERIEYS, L. E. K., M. S. ROGAN, S. S. MATSUSHIMA a Ch. C. WILMERS, 2021. Road-crossings, vegetative cover, land use and poisons interact to influence corridor effectiveness. *Biological Conservation* [online]. 253, 108930. ISSN 0006-3207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2020.108930

SHANNON, G., M. F. MCKENNA, L. M. ANGELONI, K. R. CROOKS, K. M. FRISTRUP, E. BROWN, K. A. WARNER, M. D. NELSON, C. WHITE, J. BRIGGS, S. MCFARLAND a G. WITTEMYER, 2016. A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews* [online]. 91(4), 982–1005. ISSN 1469-185X. Dostupné z: doi:10.1111/brv.12207

SKOV, Ch., B. B. CHAPMAN, H. BAKTOFT, J. BRODERSEN, Ch. BRÖNMARK, L-A. HANSSON, K. HULTHÉN a P. A. NILSSON, 2013. Migration confers survival benefits against avian predators for partially migratory freshwater fish. *Biology Letters* [online]. 9(2), 20121178. Dostupné z: doi:10.1098/rsbl.2012.1178

SMITH, D. J., R. VAN DER REE a C. ROSELL, 2015. Wildlife Crossing Structures. In: *Handbook of Road Ecology* [online] John Wiley & Sons, Ltd, 172–183. ISBN 978-1-118-56817-0. Dostupné z: doi:10.1002/9781118568170.ch21

SOŁOWCZUK, A., 2014. The impact of land development on the distribution of road noise level on the surface of the upper wildlife crossings. *Budownictwo i Architektura* [online]. 13(1), 103–112. ISSN 2544-3275. Dostupné z: doi:10.35784/bud-arch.1931

SOŁOWCZUK, A., 2020. Effect of Landscape Elements and Structures on the Acoustic Environment on Wildlife Overpasses Located in Rural Areas. *Sustainability* [online]. 12(19), 7866. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su12197866

STEWART, L., B. RUSSELL, E. ZELIG, G. PATEL a K. S. WHITNEY, 2020. Wildlife Crossing Design Influences Effectiveness for Small and Large Mammals in Banff National Park. *Case Studies in the Environment* [online]. 4(1), 1231752. ISSN 2473-9510. Dostupné z: doi:10.1525/cse.2020.1231752

STRASKY, J., 2015. Viaducts with progressively erected decks. In: *Multi-Span Large Bridges*. 27–36.: CRC Press. ISBN 978-0-429-22636-6.

TAYLOR, P. D., L. FAHRIG, K. HENEIN a G. MERRIAM, 1993. Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure. *Oikos* [online]. 68(3), 571–573. ISSN 0030-1299. Dostupné z: doi:10.2307/3544927

THOMPSON, N., M. FLEMING, B. J. TANG, A. M. PASTWA, N. BORGE, B. C. GOEHRING a S. DAS, 2024. A Model for Estimating the Economic Costs of Computer Vision Systems That Use Deep Learning. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* [online]. 38(21), 23012–23018. ISSN 2374-3468. Dostupné z: doi:10.1609/aaai.v38i21.30343

URBAN, D. a T. KEITT, 2001. Landscape Connectivity: A Graph-Theoretic Perspective. *Ecology* [online]. 82(5), 1205–1218. ISSN 1939-9170. Dostupné z: doi:10.1890/0012-9658(2001)082[1205:LCAGTP]2.0.CO;2

VAGIĆ, N., A. PEULIĆ a S. STOJKOVIĆ, 2022. Object detection in order to determine locations for wildlife crossings. *Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu* [online]. (70), 23–36. ISSN 1450-7552, 2334-9441. Dostupné z: doi:10.5937/zrgfub2270023V

VAN BOHEMEN, H. D, 1998. Habitat fragmentation, infrastructure and ecological engineering1. *Ecological Engineering* [online]. 11(1), 199–207. ISSN 0925-8574. Dostupné z: doi:10.1016/S0925-8574(98)00038-X



WANG, Y., L. GUAN, J. CHEN a Y. KONG, 2018. Influences on mammals frequency of use of small bridges and culverts along the Qinghai–Tibet railway, China. *Ecological Research* [online]. 33(5), 879–887. ISSN 1440-1703. Dostupné z: doi:10.1007/s11284-018-1578-0

ZAFAR, M. I., R. DUBEY, S. BHARADWAJ, A. KUMAR, K. K. PASWAN, A. SRIVASTAVA, S. K. TIWARY a S. BISWAS, 2023. GIS Based Road Traffic Noise Mapping and Assessment of Health Hazards for a Developing Urban Intersection. *Acoustics* [online]. 5(1), 87–119. ISSN 2624-599X. Dostupné z: doi:10.3390/acoustics5010006

Zeměměřický úřad, 2024. Otevřená data Zeměměřického úřadu, ortofoto ČR [online] [vid. 2024-04-26]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/opendata/>. Dostupné na základě licence Creative Commons; úpravy jsou uvedeny přímo v textu práce. Autor dat se nepodílel na zpracování této práce a není odpovědný za případné chyby.

## 8 Seznam obrázků

Obr. 1: Ekodukt Jenišov

Obr. 2: Denní aktivita vybraných druhů volně žijících a domácích zvířat a lidí na přechodech pro zvěř.

Obr. 3: Měření ekoduktu Kletné s nálevkovitým tvarem.

Obr. 4: Měření ekoduktu Sezimovo Ústí s rovinným tvarem.

## 9 Seznam grafů

Graf 1: Rozdělení ekoduktů překrývající migrační koridory dle typu.

Graf 2: Rozdělení ekoduktů v České republice dle typu.

Graf 3: Naměřené hodnoty šířky ekoduktů v České republice a jejich srovnání s doporučenou šířkou.

Graf 4: Vypočítané hodnoty indexu otevřenosti ekoduktů v České republice a jejich srovnání s doporučeným indexem otevřenosti.

## 10 Seznam tabulek

Tab. 1: Ekodukty překrývající migrační koridory; zdroj: vlastní zpracování

# 11 Fotografická příloha

