

ZAGOTAVLJANJE MIGRACIJSKIH KORIDORJEV ZA PROSTOŽIVEČE ŽIVALI NA OBMOČJU ŽELEZNIŠKE INFRASTRUKTURE

PROVIDING WILDLIFE CORRIDORS IN THE AREA OF RAILWAY INFRASTRUCTURE

Samar AL SAYEGH PETKOVŠEK¹, Klemen KOTNIK²

(1) Fakulteta za varstvo okolja, samar.petkovsek@fvo.si

(2) Fakulteta za varstvo okolja, klemen.kotnik@fvo.si

IZVLEČEK

Železniški transport je okoljsko in ekonomsko sprejemljivejši od drugih vrst kopenskega transporta, vendar lahko negativno vpliva na prostoživeče živali, saj pomeni oviro za njihovo gibanje (barierni učinek) ter neposredno povečuje umrljivost zaradi trkov z vlaki. Zaradi tovrstnih vplivov je smiselno načrtovati in implementirati omilitvene ukrepe, ki zagotavljajo ekološko povezljivost in zmanjšujejo umrljivost prostoživečih živali na območju železniške infrastrukture. Ukrepi morajo biti usmerjeni predvsem k preprečevanju vstopanja in zadrževanja živali na območju železniških tirov, saj se vlaki praviloma ne morejo izogniti trku. Še posebej primerni so omilitveni ukrepi, ki zmanjšujejo število trkov in ne povečujejo bariernega učinka. V preglednem članku smo se osredotočili na ukrepe, ki so bili obravnavani oz. implementirani na območju železniške infrastrukture in na novejših raziskave, v okviru katerih so preverjali možnost uporabe alternativnih omilitvenih ukrepov, npr. opozorilnih sistemov, testiranih v Kanadi in na Švedskem. V drugem delu prispevka predstavljamo predlog protokola za zagotovitev migracijskih koridorjev na območju železnice, ki smo ga oblikovali na podlagi relevantne tuje literature in lastnih izkušenj, pridobljenih z načrtovanjem in spremljanjem ukrepov za zmanjšanje povoza prostoživečih živali (s poudarkom na parkljarjih) na cestah, hitrih cestah ter avtocestah in z analizo povozov na območju slovenske železniške infrastrukture v izbranem petletnem obdobju.

Ključne besede: migracijski koridorji, železniška infrastruktura, barierni učinek, protokol, omilitveni ukrepi, trki prostoživečih živali z vlaki

ABSTRACT

Rail transport is considered to be more environmentally friendly, economical and socially acceptable than other types of land transport, especially when compared to road transport. However, it can adversely affect wildlife by creating barriers to their movement, commonly known as the "barrier effect", and by directly increasing mortality due to collisions with trains. Therefore, it is crucial to plan and implement mitigating measures to ensure ecological connectivity and reduce wildlife mortality caused by rail traffic. The primary focus of such measures should be on preventing animals from accessing and lingering on railway tracks, since trains typically cannot avoid collisions. Measures that effectively reduce the number of collisions without exacerbating the barrier effect are particularly desirable. In this review article, we focused on measures that have been proposed or implemented in railway infrastructure. Additionally, we examine recent research exploring the feasibility of alternative mitigation measures, such as warning systems tested in Canada and Sweden. The second part of the paper presents a proposal for a protocol designed to ensure migration corridors and minimize barrier effects. The protocol was developed based on relevant literature and previous studies, as well as our own experience in planning and implementing monitoring measures to reduce wildlife mortality (with a focus on ungulates) on roads, highways and freeways. It also incorporates an analysis of collisions between wildlife and trains on the Slovenian railways network during a selected five-year period.

Keywords: wildlife corridors, railway infrastructure, barrier effect, protocol, mitigation measures, wildlife-train collisions

GDK 153+265(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.131.3

Prispelo / Received: 14. 04. 2023

Sprejeto / Accepted: 28. 06. 2023



1 UVOD

1 INTRODUCTION

Železniški promet ponovno postaja pomemben globalen kopenski transportni sistem (Dulac, 2013; Popp in Boyle, 2017). Evropska železniška mreža je ena najgostejših na svetu; sestavlja jo okoli 230.000 km železniških prog, ki prečkajo več kot 2500 (18 %)

zavarovanih območij v Evropi (International Union of Railways (IUR), 2022). Cilj Evropske komisije je, da bi do leta 2030 potrojili dolžino obstoječega železniškega omrežja za visoke hitrosti in ohranili gosto železniško mrežo v vseh državah članicah Evropske unije. Na globalnem nivoju železniške proge dosejajo več kot milijon kilometrov. Ocenjuje se, da naj bi se do leta 2050

dolžina železniških prog povečala za okoli 30 % glede na leto 2010; pričakuje se zlasti povečanje prometa po hitrih železnicah (Dulac, 2013).

Železniški transport je okoljsko in ekonomsko sprejemljivejši od drugih vrst kopenskega transporta. Železniški koridorji so ožji v primerjavi s cestnimi, kar vpliva na manjšo izgubo habitatov vrst ob umestitvi železniških prog v prostor. Onesnaženje, ki ga povzroča železniški promet, je manjše v primerjavi s cestnim; še posebej, ker imajo mnoge vlakovne kompozicije električne lokomotive (Silva Lucas in sod., 2017). Kljub navedenemu ima železniška infrastruktura tudi negativen vpliv, saj pomeni oviro za gibanje prostoživečih živali (barierni učinek) in neposredno povečuje njihovo umrljivost zaradi trkov z vlaki. Slednje lahko vpliva na populacijsko dinamiko in lahko ogroža preživetje vrst (Dorsey in sod., 2015; Heske, 2015; Barrientos in Borda-de-Agua, 2017; Borda-de-Agua in sod., 2017; Santos in sod., 2017; Barrientos in sod., 2019; Potočnik in sod., 2019). Trki vlakov z večjimi vrstami sesalcev so pomemben dejavnik umrljivosti parkljarjev in velikih zveri (zlasti medvedov) (Modafferi in Becker, 1997; Gundersen in sod., 1998; Seiler in sod., 2011, 2014; Cserkesz in Farkas, 2015; Santos in sod., 2017; Gilhooly in sod., 2019; Nezval in Bil, 2020; St. Clair in sod., 2020). Hkrati prihaja do izgub, sprememb in fragmentacije habitatov. Gosta železniška omrežja drobijo habitate na manjše, pogosto izolirane zaplate, ki lahko ovirajo prehajanje osebkov med njimi ter posledično omejujejo genski pretok. To lahko vodi do ogroženosti vrst in/ali celo do njihovega izumrtja (Barrientos in Borda-de-Agua, 2017; Barrientos in sod., 2019; Potočnik in sod., 2019). Zaradi tovrstnih negativnih vplivov je smiselno načrtovati in implementirati omilitvene ukrepe za zagotavljanje povezljivosti prostora in za zmanjšanje umrljivosti prostoživečih živali na območju železniške infrastrukture. Slednje je še zlasti pomembno na območjih migracijskih koridorjev prostoživečih živali in pomembnih habitatov ogroženih vrst (npr. Natura 2000 območja, zavarovana območja).

V pričujočem preglednem prispevku predstavljamo omilitvene ukrepe in primere dobre prakse za zmanjšanje števila trkov ter zagotavljanje migracijskih koridorjev oz. ekološke povezljivosti. V prispevku smo se osredotočili na ukrepe, ki so bili obravnavani oz. implementirani na območju železniške infrastrukture in na novejša raziskave, kjer so preverjali možnost uporabe alternativnih omilitvenih ukrepov, kot so npr. opozorilni sistemi, ki so jih testirali v Kanadi in na Švedskem (Babinska-Werka in sod. 2015; Krofel in sod., 2015; Seiler in Olsson, 2017; Potočnik in sod., 2019; Backs in sod., 2020; Bhardway in sod., 2022).

V nadaljevanju smo predstavili predlog protokola za zagotavljanje migracijskih koridorjev na območju železniške infrastrukture, ki se v primeru Slovenije nanaša predvsem na obstoječo železniško infrastrukturo, saj so posegi (posodobitve, nadgradnja ipd.) vanjo prioriteta investicij Slovenskih železnic v prihodnosti. Pričujoči predlog protokola je lahko pomemben v procesu odločanja o izvedbi in izbiri ukrepov za zagotavljanje migracijskih koridorjev prostoživečih živali na območju železniškega omrežja.

2 METODE

2 METHODS

V prispevku smo opravili pregled in sintezo literature, ki obravnava omilitvene ukrepe za zagotavljanje povezljivosti prostora in za zmanjšanje umrljivosti prostoživečih živali na območju železniške infrastrukture. Pri tem smo upoštevali pregledna dela, ki opisujejo omilitvene ukrepe za zmanjšanje negativnega vpliva linijske infrastrukture, vključno z železnico (Iuell in sod., 2003; Langbein in sod., 2011; Adamič in sod., 2012; Technical ..., 2016; Potočnik in sod., 2019), in dela, ki se osredotočajo na ukrepe in primere dobrih praks le na območju železniške infrastrukture (Babinska-Werka in sod., 2015; Carvalho in sod., 2017; Keken in Kušta, 2017; Seiler in Olsson, 2017; Bhardway in sod., 2022; Jasinska in sod., 2022).

Predlog protokola za zagotavljanje migracijskih koridorjev na območju železniške infrastrukture smo oblikovali, upoštevaje ugotovitve prvega sklopa in lastnih izkušenj, ki smo jih pridobili z načrtovanjem ter spremljanjem ukrepov za zmanjšanje povoza prostoživečih živali (zlasti parkljarjev) na cestah, hitrih cestah in avtocestah (Pokorny in sod., 2006, 2007a, b, 2008, 2016; Pokorny in Poličnik, 2008; Jelenko Turinek in sod., 2012; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2019, 2021a, b) ter z analizo povozov na območju slovenske železniške infrastrukture v izbranem petletnem obdobju (Al Sayegh Petkovšek in sod., 2020).

3 PREGLED OMILITVENIH UKREPOV IN PRIMEROV DOBRIH PRAKS

3 REVIEW OF MITIGATION MEASURES AND CASE STUDIES

Omilitvene ukrepe vzdolž prometne infrastrukture (ceste, železnice) lahko razdelimo na dva osnovna tipa: (i) omilitveni ukrepi, ki povečujejo povezljivost populacij prostoživečih živali (premostitveni objekti, prehodi), in (ii) ukrepi, ki povečujejo varnost udeležencev v prometu in zmanjšujejo število trkov živali – umrljivost (varovalne ograje, odvrtačala, upravljanje s habitatami in populacijami živali v okolici železniških prog, zmanjša-



Slika 1: Povoženi severni jeleni ob železniški progi na Norveškem, november 2017 (Berliner-kurier, 2017)

Fig. 1: Reindeer fatalities along a railway track in Norway, November 2017 (Berliner-kurier, 2017)

nje hitrosti vlakov, prilagoditev infrastrukture).

V praksi je delitev med tema dvema skupinama omilitvenih ukrepov pogosto nejasna. Ukrepi lahko izpolnjujejo oba cilja, a imajo tudi negativne vplive. Takšen primer so varovalne ograje ob linijski infrastrukturi, ki sicer uspešno zmanjšujejo število trkov z večjimi vrstami sesalcev, vendar istočasno povečujejo fragmentacijo prostora. Varovalne ograje so učinkovit in primeren omilitveni ukrep samo v kombinaciji s premostitvenimi objekti za živali, ki nadomestijo njihov negativni barierni učinek oz. prispevajo k vzdrževanju povezljivosti habitatov (van der Grift, 1999; Barrientos in sod., 2019).

3.1 Ukrepi za zagotavljanje ekološke povezljivosti (premostitveni objekti)

3.1 Mitigation measures for ensuring ecological connectivity (wildlife crossings)

Omilitveni ukrepi in še posebej premostitveni objekti so nujni, ko linearne infrastrukture v prostor ni možno umestiti na način, ki ne bi vplival na življenjske oziroma prostorske navade prostoživečih živali. Umestitev premostitvenih objektov ohranja povezljivost habitatov z omogočanjem prehodnosti migracijskih koridorjev prostoživečih živali, hkrati pa prispeva k zmanjšanju umrljivosti zaradi trkov živali z vlaki (Silva Lucas in sod., 2017).

Živali uporabljajo premostitvene objekte, ki so namenski, oziroma druge objekte (npr. drenažni prepusti, viadukti, mostovi, tuneli), ki prečkajo železnice. Slednje lahko prilagodimo (npr. umestitev polic, dopuščanje naravne vegetacije in tal) in tako povečamo njihovo uporabnost; takšna rešitev je tudi stroškovno ugodnejša. Seveda so namenski premostitveni objekti,

ki se jih umešča ob izgradnji novih železniških prog, oziroma ob nadgradnji starih, z vidika ekološke povezljivosti najprimernejši. Njihova izvedba, tehnične značilnosti, lokacija in pogostnost omogočajo prehajanje različnim vrstam oziroma skupinam živali in ohranjajo ekološko povezljivost prostora (Putman, 1997; Staines in sod., 2001; Iuell in sod., 2003; Pokorny in sod., 2006; Poličnik in Pokorny, 2011; Adamič in sod., 2012; Technical ..., 2016; Carvalho in sod., 2017; Silva Lucas in sod., 2017; Pobjlšaj in sod., 2019; Potočnik in sod., 2019). V nadaljevanju premostitvene objekte obravnavamo v okviru predloga protokola za zagotavljanje migracijskih koridorjev (poglavje 4.2).

3.2 Ukrepi za zmanjšanje povezovalne (umrljivosti) prostoživečih živali

3.2 Measures for decreasing wildlife mortality due to collisions

3.2.1 Varovalne ograje

3.2.1 Fences

Varovalne ograje so učinkovite pri preprečevanju trkov vozil s prostoživečimi živalmi predvsem na hitrih cestah in avtocestah (Clevenger in sod., 2001; Iuell in sod., 2003; Technical ..., 2016). Na območju železniške infrastrukture praviloma niso stroškovno upravičene, saj trki z vlaki pomenijo (pre)majhno tveganje za ljudi (Huijser in sod., 2009; Seiler in Olsson, 2017; Backs in sod., 2020). Zato je smiselno varovalne ograje namestiti le na odsekih železniških prog z zelo velikim povozom; ponekod so nameščene na odsekih, kjer vozijo hitri vlaki (Barrientos in sod., 2019). Hkrati morajo biti izpolnjeni nekateri drugi pogoji, ki omogočajo nevtralizacijo bariernega učinka, ki ga varovalna ograja povzroča že sama po sebi: (i) zagotovljena mora biti

dovolj velika dolžina ograje, ki preprečuje koncentracijo prehajanja divjadi (in s tem še večje tveganje za povoz) na koncu ograje; ograje morajo segati 500 m ali več zunaj nevarnega odseka; (ii) varovalna ograja mora biti kombinirana s premostitvenimi objekti, kamor jih ograja usmerja; (iii) izvedena mora biti konstrukcija enosmernih vrat oziroma izskočnih klančin, ki omogočajo, da na železniško progo naključno zašle živali le-tudi zapustijo (Iuell in sod., 2003; Technical ..., 2016). V Sloveniji železniške proge niso ograjene z varovalnimi ograjami; ponekod pa so v urbani krajini nameščene protihrupne ograje, ki lahko funkcionirajo kot usmerjevalne in/ali varovalne ograje.

3.2.2 Fizične bariere in strukture

3.2.2 Physical barriers and structures

Fizične bariere in strukture (npr., drevesa, preusmeritveni koli) lahko prispevajo k zmanjšanju umrljivosti živali, še posebej ptic (Kociolek in sod., 2015; Zuberogitia in sod., 2015) in netopirjev (Ward in sod., 2015). Preusmeritveni koli so stroškovno ugoden ukrep za usmeritev srednje velikih in velikih ptic proč od železniške infrastrukture. Zuberogitia in sod. (2015) so na mestih zgostitev trkov ptic predlagali namestitev visokih plastičnih kolov na razdaljo enega oziroma dveh metrov ali lesenih debel/drogov. Zasaditev vegetacije je lahko uspešna metoda za zmanjšanje umrljivosti ptic, vendar moramo zasaditi oziroma ohraniti drevesa z visokimi krošnjami, da se ptice zadržujejo in letajo dovolj visoko. Po drugi strani pa zasaditev z vegetacijo lahko oblikuje in ustvari privlačen življenjski prostor za druge neleteče prostoživeče živali in jih usmerja bližje k železniškim progam. Posledično se njihova umrljivost lahko celo poveča (Zuberogitia in sod., 2015).

3.2.3 Umetne odvrtačne naprave

3.2.3 Artificial deterrents

Kemična odvrtačala (repelenti) so večinoma namenjena rastlinojedim parkljarjem. So naravne ali umetne snovi, ki so običajno mešanica človeških in volčjih vonjav ter vonjav drugih plenilcev in se primešajo v peno, ki sprožajo protiplenilski odziv umika plenskih vrst. Ta je nosilna snov, ki se jo nanese na drevesa, količke ali druga mesta vzdolž železniške proge. Namen kemičnih odvrtačal je odvrniti živali od prečkanja železniške proge. Poznamo različne načine nanosa repelentov; na Norveškem so, npr., popršili drevesa, rastoča ob železniški progi, na vsakih 5 metrov ter ugotovili, da imajo pozitiven učinek na zmanjšanje števila trkov, vendar se le-ta spreminja (Andreassen in sod., 2005). Na Češkem je uporaba kemičnih odvrtačal zmanjšala skupno umrljivost prostoživečih živali na cestah in železnicah, ni

pa imela vpliva na plazilce in dvoživke (Kušta in sod., 2015).

Možna je uporaba tudi svetlobnih odvrtačal. Na železniških progah lahko svetlobne odsevnik aktivirajo žarometi vlaka, ali pa se sproži svetlobno opozorilo že pred prihodom vlaka. Jasinska in sod. (2022) so testirali svetlobna odvrtačala (rdeči odsevnik), nameščena na obeh straneh železniške proge (2,1 km) v obdobju med avgustom in marcem. Del obdobja so bila svetlobna odvrtačala neaktivna (pokrita). Obnašanje živali so spremljali prek videokamer, ki so bile nameščene na električne drogove ob železniških progah. Vpliva na reakcijo živali (evropska srna/srnjad (*Capreolus capreolus*), navadna lisica (*Vulpes vulpes*), poljski zajec (*Lepus europaeus*)) ob prihajajočem vlaku niso opazili. Povprečen ubežni čas srnjadi je bil 4 do 7 sekund in se ni spreminjal glede na obdobje dneva ali glede na aktivnost svetlobnih odvrtačal. Na podlagi rezultatov raziskave so zaključili, da svetlobna odvrtačala (rdeči odsevnik) ne spreminjajo vedenja živali, ko se približuje vlak, in da niso učinkovit ukrep za zmanjšanje povoza (Jasinska in sod., 2022).

Zvočna (akustična) odvrtačala so lahko dobra alternativa varovalnim ograjam, še posebej, ker ne onemogočajo prečkanja železniških prog, temveč ga le zamaknejo na varen trenutek (ko v bližini ni vlaka). Zvok živali opozori na prihajajoči vlak, zvočna bariera pa odvrne živali od približevanja železniški progi. Sistemi se lahko nameščajo na kritičnih območjih (odsekih) železniških prog. Odvrtačala se lahko aktivirajo (oddajajo zvok) v enakih časovnih presledkih neodvisno od prihajajočega vlaka ali pa samo takrat, ko se le-ta približuje (Babinska-Werka in sod., 2015; Carvalho in sod., 2017; Backs in sod., 2017, 2020).

V preteklosti so že ugotovili zmanjšanje števila trkov vlakov z losi (*Alces alces*) vzdolž železniške proge v Kanadi, ko so bili vlaki opremljeni s sistemom za sprožanje ultrazvoka (Muzzi in Bisset, 1990). Babinska-Werka in sod. (2015) so raziskovali učinkovitost zvočnih odvrtačal, ki so jih namestili vzdolž dveh odsekov železniške proge v osrednji Poljski (skupaj je bilo zaščiteno 3,7 km). Na izbranih dveh odsekih so predhodno opazili pogosto prehajanje živali čez železniško progo. Zvok odvrtačal so kombinirali z različnimi naravnimi zvoki, kot so svarilni klici oziroma oglašanje ogroženih živali (šoja (*Garrulus glandarius*), poljski zajec, pes (*Canis familiaris*), divji prašič (*Sus scrofa*), srnjad, volk (*Canis lupus*)). Hkrati so vseskozi snemali vedenje živali na območju železniške infrastrukture; najpogosteje so zabeležili srnjad, navadno lisico in poljskega zajca. Uporaba zvočnih odvrtačal, ki so se sprožala avtomatsko pred prihodom vlaka (30 sekund do 3 minute), je



Slika 2: Nameščanje zvočnih odvrtač na električne stebre (foto: M. Zaluberšek, 2016)

povečala delež živali, ki jim je uspelo, da so se umaknile z železniških prog (84 % proti 68 %); v povprečju so se umaknile za okoli 20 s hitreje. Sklepali so, da se živali na oddani zvok niso navadile (habitacija), saj je delež srnjadi, ki je reagiral na zvok odvrtač, ostal enak prvo in drugo leto raziskave (Babinska-Werka in sod., 2015).

V Sloveniji so analizirali vpliv zvočnih odvrtač na zmanjšanje umrljivosti rjavih medvedov (*Ursus arctos*) na izbranih železniških odsekih, kjer je bil zabeležen največji povoz te vrste (Krofel in sod., 2015; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2016, 2017; Jelenko Turinek in sod., 2018; Potočnik in sod., 2019). Zvočne odvrtačne naprave, ki oddajajo ultra- in infrazvok in so opremljene s senzorji za aktivacijo zvoka s strani približujočega se vlaka, so bile nameščene na električne stebre na železniških odsekih Rakek–Postojna in Postojna–Prestranek, in sicer na delih, kjer je bilo na podlagi preteklih povozov in terenskega ogleda ugotovljeno, da obstaja velika verjetnost trka medveda z vlakom (slika 2) (Al Sayegh Petkovšek in sod., 2015). Pred namestitvijo akustičnih odvrtačnih naprav (obdobje 2011–2015) je bilo na dveh testnih odsekih med Ljubljano in Pivko (skupna dolžina obeh odsekov: 8 km) zabeleženih 15 smrtnih primerov medveda oz. letno med 0 in 8 (v povprečju 3,0 na leto; 0,37 osebka/km leto). Po namestitvi zvočnih odvrtač na električne drogeve (obdobje 2016–2019) se je umrljivost medvedov na testnih odsekih železniške proge pomembno zmanjšala in je bila letno le še med 0 in 2 osebka (povprečno 1,0 na leto; 0,12 osebka/km leto), kljub temu, da se populacija medvedov v tem obdobju ni zmanjšala (Jerina in sod., 2019), kar kaže na učinkovitost tovrstnih ukrepov.

3.2.4 Zmanjševanje hitrosti vlakov

3.2.4 Reducing train speed

Večje hitrosti so nedvomno povezane z večjimi tveganji za trke z živalmi na železnicah. Zmanjšanje hi-



Fig. 2: Installation of acoustic deterrents on electrical poles (photo: M. Zaluberšek, 2016)

trosti vlakov na kritičnih odsekih (identificirane črne točke v obdobju migracij nekaterih vrst prostoživečih živali) lahko pomembno prispeva k zmanjšanju umrljivosti, saj je pri počasnejših vlakih zabeleženih manj trkov (Belant, 1995; Cserkesz in Farkas, 2015; St. Clair in sod., 2020). Bertwistle (2001) je ugotovil, da je zmanjšanje hitrosti vlakov na železniški progi, ki poteka skozi nacionalni park v Kanadi (Jasper National Park), za 20 km/h (z 90 km/h na 70 km/h) prispevalo k zmanjšanju povozov vapitijev (*Cervus canadensis*) in nekaterih drugih vrst večjih sesalcev. Nasprotno pa zmanjšanje hitrosti vlakov na odsekih aljaške železnice, kjer so bile opažene zgostitve povozov losov (Valley Susitna River), z 79 km/h na 40 km/h ni pomembno vplivalo na zmanjšanje povozov te vrste (Becker in Grauvogel, 1991). Na madžarskih železnicah so analizirali podatke o povozih v desetletnem obdobju (2000–2010) in ugotovili, da je dvig povprečne hitrosti tovornih vlakov (z 28,6 km/h na 42,2 km/h) pomembno vplival na povečanje povozov večjih vrst sesalcev (jelenjad, srnjad, divji prašič) (Cserkesz in Farkas, 2015).

3.2.5 Upravljanje s habitati in populacijami živali

3.2.5 Habitat and wildlife population management

Na število trkov z vlaki primarno vpliva gostota populacij (zlasti parkljarjev) v okolici železniških prog. Manjše število prostoživečih živali v območjih ob železniški infrastrukturi (in s tem manjšo umrljivost) lahko dosežemo z uravnavanjem populacij (odstrelom) in ustreznim upravljanjem s habitati (Pokorny in sod., 2016; Iuell in sod., 2003; Technical ..., 2016; Keken in Kušta, 2017). Odstrel v okolici železniških prog ne sme povzročati dodatnega stresa mlajšim osebkom, ki so že v osnovi izpostavljeni mladostni disperziji (širjenju v nova območja) in posledično možnemu povozu.

Čiščenje in odstranjevanje grmovja in drevja ob železnicah ustvarja površine, ki so manj privlačne za ne-

katere velike sesalce. Vendar je ta vpliv zelo različen in vrstno specifičen, praviloma pa naj bi se število trkov zmanjšalo, ker se živali krajši čas zadržujejo ob železnici in se zaradi večje preglednosti hitreje umaknejo z železniških prog. Odstranitev vegetacije ob železniški progi na Norveškem je za polovico zmanjšala število trkov z losi (Andressen in sod., 2005). Nasprotno se je na Švedskem število trkov z losi in s srnjadjo povečalo po odstranitvi dreves in grmovja, najverjetneje zaradi povečane privlačnosti robnega habitata za prehranjevanje (Helldin in sod., 2011, cit. po Carvalho in sod., 2017). V drugi raziskavi, ko so primerjali število povozov pred in po odstranitvi vegetacije, niso ugotovili nobenega vpliva (Eriksson, 2014).

Ne glede na razlike v ugotovljenih vplivih pa je zagotovo nujno redno odstranjevati vegetacijo v okolici železniških prog. Pri tem je pomembna tudi časovna komponenta. V raziskavi vpliva odstranjevanja vegetacije na število trkov so ugotovili, da če jo odstranjujemo na več kot tri ali štiri leta, se število trkov zaradi večje prehranske ponudbe povečuje (Helldin in sod., 2011, cit. po Carvalho in sod., 2017). Odstranitev vegetacije in ustvarjanje bolj odprtega prostora pri nekaterih manjših vrstah poveča barierni učinek, ker so te vrste tako bolj izpostavljene plenilcem (Yanes in sod., 1995). Večje vrste sesalcev (zlasti medvede) pa privlači razsuti tovor (žita) ob železniških progah, zato se tam bolj zadržujejo in so bolj izpostavljene trkom z vlaki (Gangadharan in sod., 2017; Mattson, 2019). Zmanjšanje količine razsutih žit in preusmeritveno krmljenje živali stran od železniških prog lahko prispeva k zmanjšanju umrljivosti (Carvalho in sod., 2017).

3.2.6 Prilagoditev infrastrukture (protihrupne ograje, izhodna vrata, izskočne klančine)

3.2.6 Adaptation of infrastructure (anti-noise fences, escape doors, jump-out ramps)

Protihrupne ograje, ki so nameščene praviloma v naseljih vzdolž cest in železniških prog, zmanjšujejo hrup ter hkrati povečujejo barierni učinek za prostoživeče živali. V kombinaciji s premostitvenimi objekti lahko funkcionirajo kot usmerjevalne in/ali varovalne ograje. Vse omejitve in priporočila, ki veljajo za varovalne ograje, morajo veljati tudi za protihrupne ograje. Pri namestitvi in izvedbi protihrupnih ograj pa je pomembno tudi, da se ne povečuje število trkov s pticami (Ieull in sod., 2003; Technical ..., 2016).

Enosmerna vrata in izskočne klančine (rampe) znotraj ograjenih cestišč in železniških prog omogočajo živalim, ki so tja zašle, da zapustijo ta območja na varen način. Klančine so z notranje strani dvignjene

do varovalnih ograj, ki jih lahko živali zato preskočijo. Podobno vlogo imajo enosmerna vrata, skozi katera lahko vrste večjih sesalcev ograjeno prometnico zapustijo, nanjo pa ne morejo več zaiti (Technical ..., 2016; Potočnik in sod., 2019).

3.3 Alternativni opozorilni sistemi in prehodi

3.3 Alternative warning systems and wildlife crossing

Seiler in Olsson (2017) sta zasnovala opozorilni sistem za odvrčanje prostoživečih živali tik pred prihodom vlaka. Cilj je bil zmanjšati število trkov in hkrati omogočiti živalim prečkanje proge takrat, ko vlaka ni. Na podlagi ugotovitev preteklih raziskav, da zvočna odvrčala lahko odvrčajo prostoživeče živali (Babinska-Werka in sod., 2015), in lastnih raziskav (Seiler in sod., 2011, 2014), sta osnovala testne prehode kot alternativo varovalnim ograjam in premostitvenim objektom. Testne prehode naj bi umestili na vsaka 2 km vzdolž 50 km dolgega odseka. Celoten izbrani odsek naj bi povsod, razen na mestih testnih prehodov, ogradili s standardno visoko varovalno ograjo, in sicer z namenom zmanjšati povoz, oziroma usmeriti živali k prehodom. Načrtovala sta, da bodo testni prehodi, širine 50 m, nadzorovani z videokamerami in termovizijo, opremljeni s senzori gibanja in opozorilnimi (odvrčalnimi) sistemi. Ob prehodu bi bile nameščene razdrobljene skale z namenom preprečiti, da bi se živali premikale vzdolž proge in ostale ujete med varovalnimi ograjami. Vzdolž ograjene proge bi namestili tudi izskočne klančine in izhodna vrata. Opozorilni sistemi (zvočna odvrčala) na prehodu pa bi se aktivirali le ob prihajajočem vlaku. Avtorja predlaganega testnega sistema sta ocenila strošek enega sistema oziroma prehoda na 150.000 do 270.000 EUR (v testni fazi); za 50 km dolgo progo bi to znašalo 5,5 milijona EUR. Od tega je pomemben strošek varovalna ograja. Ocenila sta, da bodo (ob predvidevanju, da bo ograja skupaj s prehodi zmanjšala število trkov za 80 %) ti ukrepi prihranili 4,6 milijona EUR neposrednih stroškov, poudarila pa sta, da vseh pozitivnih učinkov na okolje ni mogoče realno oceniti (Seiler in Olsson, 2017).

Pomembno raziskavo o uporabi opozorilnih sistemov, ki jih sproži prihajajoči vlak (Back in sod., 2020), so opravili na območju kanadske pacifiške železnice (vzhodni del železnice na območju narodnega parka Banff), kjer so pogosti trki živali z vlakom (Gilhooly in sod., 2019). Na štirih mestih vzdolž železniške proge so namestili opozorilne sisteme, ki so s svetlobo in zvokom, ki so ju sistemi oddajali 30 sekund pred prihodom vlaka, opozarjali živali na prihod vlaka. Ločeno so

spremljali odziv večjih vrst sesalcev, kot so rjavi medved, ameriški črni medved (*Ursus americanus*), volk, kojot (*Canis latrans*), los, vapiti, belorepi jeleni (*Odocoileus virginianus*), in odziv manjših vrst, v odvisnosti od načina prihoda vlaka (naravnost ali izza ovinka). Želeli so preveriti, ali bi se lahko živali naučile in povezale opozorilo s prihodom vlaka ter se pravočasno umaknile z železniške proge. Na testne lokacije so namestili kamere in opazovali odziv na prihod vlaka, ko je bil opozorilni sistem aktiven oziroma neaktiven (kontrola). Večji sesalci so se umaknili za 62 % ubežnega časa hitreje (17,0 s proti 10,5 s), če je bil opozorilni sistem aktiviran; manjši sesalci pa za 29 % ubežnega časa hitreje (14,6 s proti 11,3 s). Živali so se hitreje umaknile, če je vlak prihajal naravnost. Na podlagi opravljenega testnega poskusa oz. raziskave so zaključili, da opozorilni sistemi lahko zmanjšajo število trkov z vlaki s povečanjem ubežnega časa (zlasti večjih sesalcev). Poudarili so tudi, da bi bilo smiselno poleg opozorilnega sistema postaviti tudi varovalne ograje tam, kjer so skupine parkljarjev (npr. črede losov) tako velike, da bi potrebovale za prečkanje železniške proge več kot 30 sekund (Bucks in sod., 2020).

Pomen zgodnjega zaznavanja in opozarjanja parkljarjev so potrdili tudi na Švedskem, kjer so raziskovali odziv srnjadi in losov na prihajajoči vlak ter zaznavanje živali s strani voznikov vlakov v obdobju petih let (Bhardway in sod., 2022). Vedenje živali so opazovali s kamerami, ki so bile nameščene v kabini vlaka. Zanimalo jih je, ali živali bežijo, v kateri smeri in kakšna je ubežna razdalja oziroma, koliko je osebek oddaljen od vlaka, ko začne bežati (FID: angl. *flight initiation distance*). V večini primerov so osebki srnjadi in losa začeli bežati, in sicer v povprečju okoli 79 m pred prihajajočim vlakom. Srnjad je reagirala na zvočno opozorilo in podaljšala ubežno razdaljo za 44 m, vendar pa je bilo njeno gibanje v smeri nevarnosti (proti vlaku). Na ubežno razdaljo zvočno opozorilo ni imelo vpliva. Tudi hitrost vlaka je različno vplivala na obe obravnavani vrsti. Ko se je hitrost vlaka povečala, se je ubežna razdalja pri losih zmanjšala, na srnjad pa ni imela vpliva. Zaznavanje srnjadi in losov s strani vlakovodij sta ovirali vegetacija ob progi in oblika terena. Avtorji raziskave so poudarili, da zgodnje zaznavanje in opozarjanje živali zmanjšuje tveganje za trk. Predlagali so, da bi sistemi za zaznavanje morali vključevati termalne kamere, ki bi omogočile zaznavanje živali v temi; zvočni opozorilni sistemi pa bi se morali vključiti prej in tako omogočiti živalim, da se pravočasno/varno umaknejo z železniških tirov (Bhardway in sod., 2022).

4 PROTOKOL ZA DOLOČITEV IN IZVEDBO UKREPOV ZA ZAGOTAVLJANJE MIGRACIJSKIH KORIDORJEV

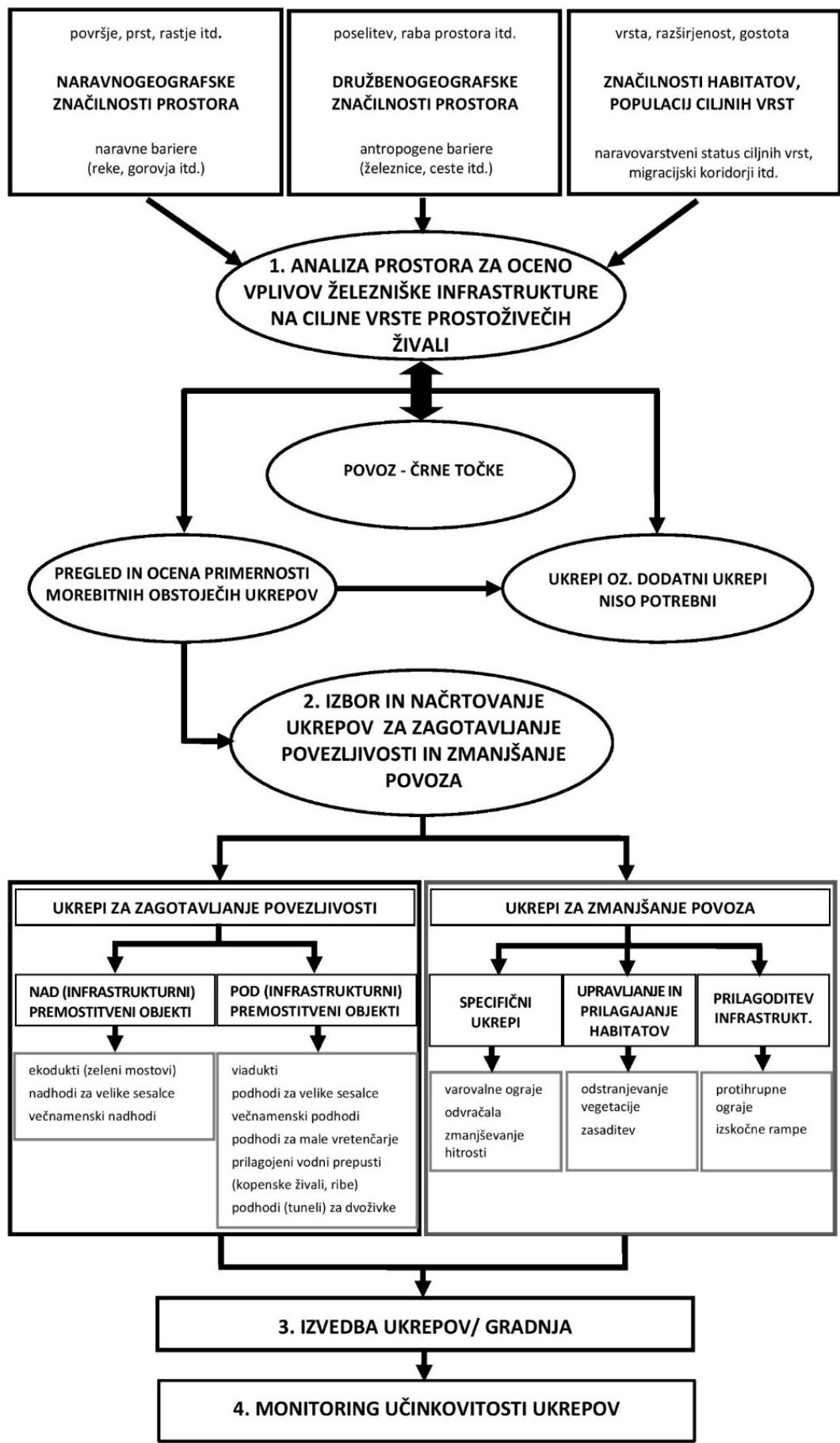
4 PROTOCOL FOR THE DETERMINATION AND IMPLEMENTATION OF MEASURES FOR PROVIDING WILDLIFE CORRIDORS

Umeščanje železniške infrastrukture v prostor je treba načrtovati tako, da se barierni učinek zmanjša na najmanjšo možno mero in da se ohranijo oz. zagotovijo migracijski koridorji prostoživečih živali. Habitati vrst in posledično povezljivost prostora se morajo ohraniti v največji možni meri; slednje lahko dosežemo s prilagajanjem trase železniške proge, izgradnjo premostitvenih objektov, oblikovanjem nadomestnih habitatov ipd. (Iuell in sod., 2003; Potočnik in sod., 2019; Al Sayegh Petkovšek in sod., 2020).

V nadaljevanju prikazujemo protokol (slika 3) za zagotavljanje migracijskih koridorjev na območju železniške infrastrukture. V primeru Slovenije se protokol nanaša predvsem na obstoječo železniško infrastrukturo, saj so posegi vanjo (posodobitve, nadgradnja ipd.) prioriteta investicij Slovenskih železnic v prihodnosti, smiselno pa se lahko uporablja tudi za projekte novogradenj. Pri oblikovanju protokola smo upoštevali usmeritve, ki jih predlagata Barrientos in Borda-de-Agua (2017) za zmanjšanje bariernega učinka železniške infrastrukture, splošne usmeritve za vključevanje ekoloških koridorjev in povezljivosti v načrtovanje in upravljanje prostora globalno (Iuell in sod., 2003; Technical ..., 2016; Carvalho in sod., 2017) in na ravni Slovenije (Potočnik in sod., 2019; Penko Seidl in sod., 2021) ter lastne ugotovitve raziskav povoza prostoživečih živali na območju slovenske železniške infrastrukture v obdobju 2015–2019 (Al Sayegh Petkovšek in sod., 2020).

Osnovne faze protokola za zagotavljanje migracijskih koridorjev obsegajo:

1. analizo prostora za oceno vplivov železniške infrastrukture na ciljne vrste prostoživečih živali, vključno z analizo povoza in identifikacijo črnih točk na izbranih odsekih železniških prog;
2. izbor in načrtovanje ukrepov za zagotavljanje povezljivosti in zmanjšanje povoza;
3. izvedbo ukrepov (gradnja), ki jih ne tem mestu ne obravnavamo; smiselno je tudi nadzor gradnje s strani strokovnjakov za prostoživeče živali;
4. monitoring učinkovitosti ukrepov v obdobju obratovanja železniških prog.



Slika 3: Protokol za zmanjšanje bariernega učinka na območju slovenske železniške infrastrukture

Fig. 3: Protocol for decreasing of the railway barrier effect in the area of Slovene railway infrastructure

4.1 Analiza prostora za oceno vplivov železniške infrastrukture na ciljne vrste prostoživečih živali, vključno z analizo povoza

4.1 Spatial analysis for assessment of the impact of railways on target species, including an analysis of wildlife mortality on railways

Prostorske analize (s pomočjo geografskega informacijskega sistema, GIS), ki jih opravljajo predvsem strokovnjaki za ekologijo prostoživečih živali in naravovarstvo, omogočajo vrednotenje naravno ter družbenogeografskih značilnosti prostora in habitatov ciljnih vrst ter oblikovanje pregleda pomembnosti posameznih območij za ekološko povezljivost in migracijo prostoživečih živali. S prekrivanjem teh podatkov in podatkov o poteku obstoječih in načrtovanih tras železniških prog lahko ugotovimo, kateri odseki potekajo (bodo potekali) skozi zelo občutljiva območja (habitate) ter lokacije, kjer je nujno umestiti premostitvene objekte ali/in implementirati druge omilitvene ukrepe. K tej odločitvi lahko bistveno prispevajo tudi ustrezni podatki o povozih na železniških progah in vzporednih cestah, ki potekajo skozi območja obravnave.

4.1.1 Naravogeografske in družbenogeografske značilnosti prostora

4.1.1 Natural and socio-geographic characteristics of the area

Pri analizi naravogeografskih in družbenogeografskih značilnosti je na območju obravnave pomembno identificirati naslednje dejavnike, ki vplivajo na povezljivost prostora:

- obstoj območij z rabo prostora, ki omogoča oziroma dopušča migracije prostoživečih živali;
- obstoj območij, kjer je gibanje živali odvisno od lokalnih značilnosti terena (npr. grebeni, soteske, rečne doline);
- obstoj vodotokov, ki usmerjajo mnoge vodne in kopenske vrste;
- obstoj antropogenih barier (linijska prometna infrastruktura) in poselitev, ki zmanjšujejo povezljivost prostora (Technical ..., 2016).

4.1.2 Značilnosti habitatov in populacij ciljnih vrst

4.1.2 Characteristics of habitats and populations of target species

V sklopu prostorske analize za ocenitev vpliva železniške infrastrukture na prostoživeče živali je treba identificirati habitate (ciljnih) vrst oziroma taksonomskih skupin, kot so:

- vrste, ki potrebujejo velik življenjski okoliš, po katerem se neovirano premikajo: parkljarji (npr. jelenjad, srnjad, divji prašič) in velike ter srednje velike

zveri (npr. rjavi medved, volk, evrazijski ris (*Lynx lynx*), šakal (*Canis aureus*));

- vrste, za katere je značilna sezonska selitev do reprodukcijskih območij, in kjer železniška infrastruktura ovira (bo ovirala) dostop do teh območij; te vrste so zato še posebej ranljive (npr. dvoživke);
- vrste, ki lahko pomenijo pomembno tveganje za prometno varnost oz. lahko trki z njimi povzročijo znatno materialno škodo: vse vrste parkljarjev (še posebej navadni jelen, evropska srna in divji prašič) ter rjavi medved;
- ogrožene vrste, ki niso vključene v prejšnjih skupinah in so zakonsko zavarovane na evropskem in nacionalnem nivoju (npr. netopirji, vidra (*Lutra lutra*), divja mačka (*Felis silvestris*)) (Technical ..., 2016).

Za vse navedene vrste oziroma taksonomske skupine je treba ugotoviti, ali ima železniška infrastruktura barierni učinek in povečuje umrljivost, zmanjšuje kakovost njihovih habitatov ter prehodnost migracijskih koridorjev. Za tovrstno ocenjevanje je nujno poznavanje biologije ciljnih vrst oziroma taksonomskih skupin (npr. velikost domačih okolišev vrst, selitve, populacijske gostote) (Technical ..., 2016). Kljub temu, da so pomembne vse vrste živali, je na določenih območjih nujno, da se osredotočimo le na eno ključno vrsto ali skupino vrst. V takšnih situacijah je možno uporabiti bolj natančne metode za analize mobilnosti ciljnih vrst. Uporaben je tudi koncept modelnih živalskih vrst (npr. rjavi medved, jelenjad), ki so ključne za ohranjanje ekološke povezljivosti prostora na različnih ravneh (Jerina, 2006; Stergar in Jerina, 2017; Potočnik in sod., 2019; Penko Seidl in sod., 2021). Pri vrednotenju vplivov je treba upoštevati tudi naravovarstveni status ciljnih vrst in njihovih habitatov ter varovana območja (območja Natura 2000 in druga zavarovana območja) (Barrientos in Borda-de-Agua, 2017).

4.1.3 Analiza podatkov o povozih in identifikacija črnih točk

4.1.3 Analysis of wildlife mortality on railways and identification of black spots

V primeru, da načrtujemo nadgradnjo obstoječe železniške infrastrukture, je za ocenjevanje bariernega učinka na prostoživeče živali pomembna analiza podatkov o povozih ali prehajanju (če obstajajo) živali na posameznih odsekih obravnavane trase. Če se načrtuje nova železniška infrastruktura in obstaja vzporedna prometnica, je nujno v analizo vključiti tudi podatke o povozu na njej. Podatke o povozih vrst velikih sesalcev lahko pridobimo iz *Osrednjega slovenskega lovsko-informacijskega sistema* (OSLIS, b. l.) in *registra povozov*

Slovenskih železnic. Za realno ocenitev povozov velikih sesalcev je, po priporočilih iz tujine (Carvalho in sod., 2017), smiselno preveriti točnost te ocene. Treba je upoštevati, da je zelo verjetno dejansko število trkov večje od registriranega. Pri evidentiranju povoženih živali na železnicah so namreč poleg metode registriranja povozov pomembna tudi izkušnost opazovalca in drugi dejavniki (dostopnost proge in topografske lastnosti območja ob progi, vegetacija ob progi, barva kamnin, ki sestavljajo tirno gredo, velikost povoženih osebkov itd.) (Carvalho in sod., 2017).

V sklopu študije o zagotavljanju migracijskih koridorjev živali na območju slovenske železniške infrastrukture (Al Sayegh Petkovšek in sod., 2020) smo predlagali kriterije za določitev (pod)odsekov slovenskih železniških prog s povečanim povprečnim povozom velikih sesalcev (prostoživečih parkljarjev in velikih zveri) in zgostitvijo povoza (črne točke) na teh odsekih. Kriterij je povprečno letno število povoženih osebkov velikih sesalcev na kilometru železniške proge posameznega odseka (gostota povoza). Obravnavali smo petletno obdobje (2015–2019) z namenom kar najbolj izničiti vplive medletne variabilnosti v prirastku obravnavanih vrst velikih sesalcev (npr. parkljarji) zaradi različnih vremenskih in prehranskih razmer. Predlagali smo, da je za pododseke železniških prog, kjer je bil evidentiran povprečni letni povoz $\geq 0,30$ osebka/km (prirejeno po Seiler in Olsson, 2017), smiselno opraviti prostorsko analizo vplivov na ciljne vrste prostoživečih živali, identificirati posamezne zgostitve povozov (črne točke) ter predlagati ustrezne ukrepe. Železniški odseki z nekoliko manjšim povprečnim letnim povozom 0,20 do 0,29 osebka/km pa so lahko predmet prostorske analize in nadaljnjih postopkov, še posebej, če je v skupnem povozu relativno velik delež naravovarstveno pomembnih vrst (npr. rjavi medved). Poudariti velja, da so bili predlagani kriteriji oblikovani na nacionalni ravni in da je zato pri konkretnih situacijah treba upoštevati lokalne ekološke razmere in kriterije ustrezno prilagoditi.

Za določitev črnih točk vzdolž linijske infrastrukture se lahko uporablja tudi metodo kernelske gostote (angl. *kernel density estimation*), kjer se identificirajo statistično značilne zgostitve oz. črne točke, ki jih lahko v nadaljevanju rangiramo in določimo območja/točke visokega tveganja (Bil in sod., 2013; Favilli in sod., 2018; Bil in Andrašik, 2020; Nezval in Bil, 2020).

4.1.4 Pregled in ocena primernosti obstoječih omilitvenih ukrepov

4.1.4 Review and assessment of the suitability of existing mitigation measures

Pregled in oceno primernosti obstoječih ukrepov

opravimo tako, da preverimo tehnične značilnosti obstoječih premostitvenih objektov (višina, širina, izvedba) in varovalnih ograj, njihovo umeščenost v prostor, antropogene motnje v okolici in uporabo s strani prostoživečih živali. Slednjo opravimo z monitoringom prehajanja, kjer lahko uporabimo različne metode (npr. namestitev peščenih blazin za sledenje živali, sledenje na terenu (v zemlji in snegu), namestitev kamer), vključno z analizo podatkov o povoženih živalih in prometnih obremenitvah na območju že implementiranih ukrepov. Pri izvedbi monitoringa smiselno uporabimo usmeritve, ki smo jih zapisali v poglavju 4.3 (Monitoring učinkovitosti že izvedenih ukrepov); pri preverjanju tehničnih značilnosti in umeščenosti v prostoru pa vsebine iz naslednjega poglavja (4.2 Izbor ustreznih ukrepov za zagotavljanje povezljivosti in zmanjšanje povoza).

Na podlagi ugotovitev lahko predlagamo nove ukrepe, izboljšamo uporabnost obstoječih premostitvenih objektov in drugih omilitvenih ukrepov, ali pa zaključimo, da ukrepi niso potrebni. Obstoječe objekte, ki v osnovi niso bili namenjeni prehajanju živali, lahko preoblikujemo v večnamenske premostitvene objekte. Preoblikovani premostitveni objekti povečajo prepustnost linijske infrastrukture ob relativno majhnih dodatnih stroških. Pri viaduktih in drugih večjih premostitvenih objektih so pogosto potrebne le manjše prilagoditve (Iuell in sod., 2003; Carvalho in sod., 2017).

4.2 Izbor in načrtovanje ustreznih ukrepov za zagotavljanje povezljivosti in zmanjšanje povoza

4.2 Selection and planning of appropriate measures to ensure connectivity and reduce wildlife mortality

Na podlagi rezultatov prostorske analize (analize habitatov, ciljnih vrst, analize povoza na obstoječih prometnicah, učinkovitosti že izvedenih ukrepov) na območju obravnave in potrditve smiselnosti nadaljnjih ukrepov za omogočanje povezljivosti prostora se v sklopu druge faze izberejo ustrezni omilitveni ukrepi. Premostitveni objekti, ki jih opisujemo v nadaljevanju, so pogosto najboljša izbira.

4.2.1 Izbor lokacij za umeščanje premostitvenih objektov

4.2.1 Selection of locations for placement of crossing facilities

Premostitvene objekte je treba umestiti povsod tam, kjer so nujni za: povezljivost izoliranih habitatnih zaplat, omogočanje dostopa prostoživečim živalim do pomembnih območij (reprodukcijska območja, območja za prehranjevanje in počivanje), omogočanje

prečkanja prometnic, kjer le-te sekajo migracijske koridorje živali in za zmanjšanje tveganja za udeležence v prometu. Pravilen izbor lokacije je verjetno najpomembnejši dejavnik, ki vpliva na učinkovitost premostitvenih objektov (Carvalho in sod., 2017).

4.2.2 Pogostnost (gostota) premostitvenih objektov vzdolž linijske prometne infrastrukture

4.2.2 Density of wildlife crossing structures along the linear transport infrastructure

Določitev pogostosti, oziroma gostote premostitvenih objektov je pomembna odločitev pri načrtovanju omilitvenih ukrepov. Število in tudi vrsta premostitvenih objektov je odvisna od ciljnih vrst in razširjenosti habitatnih tipov na obravnavanem območju. V splošnem mora biti pogostnost premostitvenih objektov v naravnih habitatih (npr. gozd, mokrišča, območja z ekstenzivnim kmetijstvom) večja kot v gosto poseljenih območjih in v območjih z intenzivnim kmetijstvom. Po drugi strani pa je na območjih, ki so poseljena in po katerih poteka razvejena prometna infrastruktura, umestitev prehodov za prostoživeče živali nujna za ohranitev prepustnosti območja (Iuell in sod., 2003). Praviloma naj bi bil en objekt vzdolž enega kilometra prometnice. Navedena pogostnost je orientacijska; točno število in lokacije je treba določiti skladno s habitatni, mobilnostjo ciljnih vrst, migracijskimi koridorji (ciljnih) vrst in naravnimi strukturami (npr. doline, soteske, reke in rečne doline), ki usmerjajo premike prostoživečih živali.

Nekateri raziskovalci ekologije prostoživečih sesalcev so natančneje ovrednotili minimalno potrebne razdalje med premostitvenimi objekti in priporočili, da razdalja med dvema premostitvenima objektoma za velike sesalce ne sme biti daljša od povprečnega dnevnega premika osebkov ciljnih vrst (npr. 1,4 km za rjavega medveda in 2,2 km za volka) (Kusak in sod., 2009; Recommendations ..., 2010; Potočnik in sod., 2019). Alternativna rešitev je izgradnja najmanj dveh objektov znotraj velikosti domačega okoliša ciljne vrste (Potočnik in sod., 2019).

4.2.3 Izbor tipa premostitvenega objekta

4.2.3 Choice of type of wildlife crossing structures

Na izbor tipa premostitvenega objekta vpliva več kriterijev (Technical ..., 2016).

- Kriterij 1: Pomen območja, kjer je/bo umeščena železniška proga, za ekološko povezljivost in premikanje prostoživečih živali.

Analize povezljivosti morajo vključiti celotno preučevano območje ter oceniti pomembnost habita-

tov in ciljnih vrst na nacionalnem (ustrezno merilo 1:250.000), regionalnem (1:50.000) in lokalnem nivoju (1:5000 ali večje merilo). Na območjih z visoko stopnjo pomembnosti habitatov in vrst s pomembnim ohranitvenim statusom (npr. območja Natura 2000, za-varovana območja), ki so meddržavnega in državnega pomena, se umestijo specifični premostitveni objekti večjih dimenzij (npr. ekodukti/zeleni mostovi, viadukti), na območjih regionalnega in lokalnega pomena pa večnamenski prehodi srednjih dimenzij (slika 4). Premostitvene objekte je treba umestiti tudi na območja, ki naj bi bila manj pomembna z vidika povezljivosti, vendar pa so specifične raziskave dokazale/potrdile njihovo veliko vlogo za premikanje prostoživečih živali. Če bomo z izgradnjo železniške infrastrukture sekali mednarodno pomembni migracijski koridor velikih sesalcev, lahko povezljivost ohrani le izgradnja zelenega mostu (ekodukta) ustrezne dimenzije. Nasprotno je za ohranitev migracijskega koridorja lokalno pomembnih dvoživk dovolj na območju železniške infrastrukture umestiti manjši prepust, ustrezen za prehajanje ciljne skupine vrst (Iueli in sod., 2003; Technical ..., 2016; Carvalho in sod., 2017).

- Kriterij 2: Topografske omejitve oziroma ovire.

Pomembno vlogo pri izboru premostitvenih objektov imajo značilnosti terena. Premostitveni objekti in strukture morajo biti kolikor je mogoče položni. Če infrastruktura poteka skozi usek, je treba zgraditi nadhod, če poteka po nasipu, pa ustrezne podhode. Prek ravninskih območjih naj infrastruktura poteka po viaduktih in/ali po nasipih (t.j. zunaj nivoja okolice). Pod viadukti se ohranjajo naravni vodotoki in obstoječa narava, ki omogoča prosto prehajanje prostoživečih živali. Nasipi z zgrajenimi podhodi so v primerjavi z viadukti manj prepustni za živali.

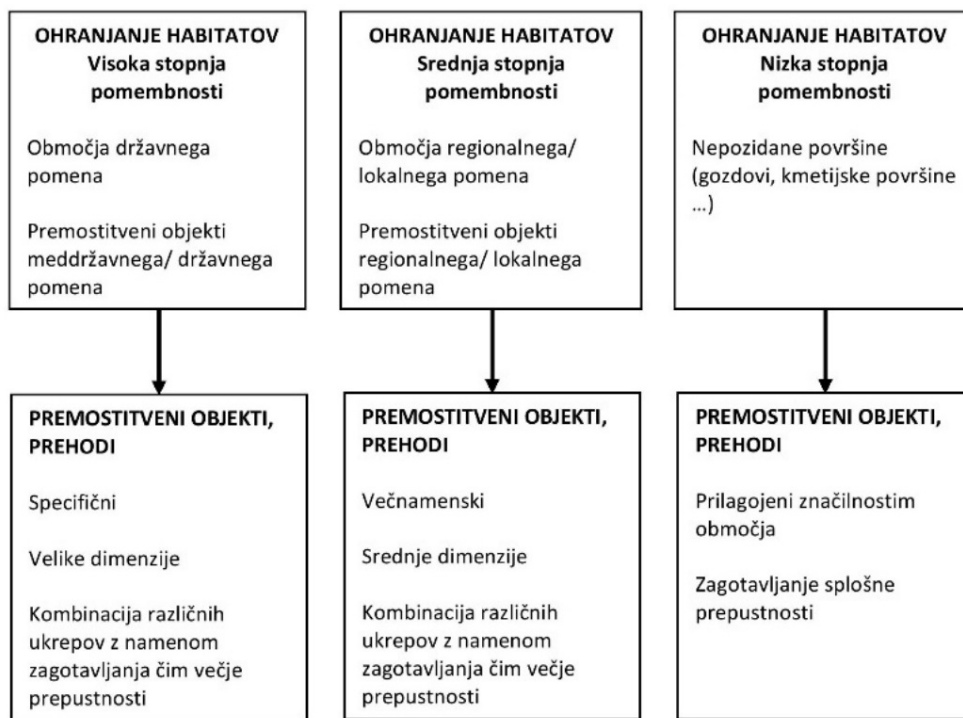
- Kriterij 3: Ciljne vrste ali taksonomske skupine.

Premostitveni objekti morajo biti oblikovani tako, da jih lahko uporablja kar največje število vrst oziroma taksonomskih skupin.

4.2.4 Dimenzije in izvedba premostitvenih objektov

4.2.4 Dimensions and construction of wildlife crossings

Če želimo zagotoviti, da premostitvene objekte uporabljajo ciljne vrste oziroma taksonomske skupine, ki so jim objekti namenjeni, je nujno upoštevanje minimalnih in priporočljivih dimenzij ter izvedbo (Iuell in sod., 2003; Technical ..., 2016; Carvalho in sod., 2017). Priporočljive dimenzije moramo upoštevati takrat, ko je umestitev premostitvenega objekta in predvsem



Slika 4: Tipi premostitvenih objektov in ukrepov v odvisnosti od pomembnosti habitatov, katerih povezljivost omogočajo (prirejeno po Iuell in sod., 2003)

Fig. 4: Types of wildlife crossings and mitigation measures depending on the importance of the habitats that enable connectivity (adapted from Iuell et al., 2003)

njegova učinkovitost zelo pomembna (npr. strateška lokacija za ohranitev vrste).

Dimenzije premostitvenih objektov so eden ključnih dejavnikov, ki določajo učinkovitost omilitvenih ukrepov še posebej za parkljarje in velike zveri. Vendar pa je lokacija umestitve, upošteva habitate ciljnih vrst, enako ali celo bolj pomembna. Prehod, ki je slabo umeščen in ni vključen v okolico, ne bo učinkovit ne glede na njegove ustrezne dimenzije.

Poleg dimenzij je pomembna tudi izvedba. Pri tem je treba smiselno upoštevati naslednje dejavnike: (i) habitate v okolici premostitvenih objektov, ki morajo biti privlačni za živali; pokritost z vegetacijo oziroma njen izostanek določa uporabo premostitvenega objekta s strani določene živalske vrste; (ii) videz nadvodov (zatravljena tla in dovolj gosta vegetacija na vhodni in izhodni strani ter obstoj drevnine); (iii) substrat, vlažnost, temperaturo in svetlobo, ki določajo uporabo premostitvenih objektov: za vsako vrsto je niz navedenih dejavnikov različen, vendar v splošnem živali raje uporabljajo premostitvene objekte z naravnimi substrati, naravno svetlobo in brez temperaturnih razlik; dvoživke potrebujejo vlažno okolje, za večino drugih vrst in večino leta pa morajo biti tla suha; (iv) zagotovitev varovalnih/usmerjevalnih elementov (npr. ograje, zidovi), ki lahko bistveno povečajo učinkovitost premostitvenih objektov; (v) motnje: uporaba premostitvenih objektov s strani ljudi in vozil se mora

zmanjšati na minimum ali pa celo prepovedati; bolj občutljive vrste se izogibajo hrupnim objektom; (vi) medvrstno interakcijo: če plenilske vrste (npr. volk) pogosto uporabljajo premostitveni objekt, to zmanjša uporabo objekta s strani plena (npr. parkljarji) (Iuell in sod., 2003; Glista in sod., 2009; Carvalho in sod., 2017).

4.3 Monitoring učinkovitosti omilitvenih ukrepov

4.3 Monitoring the effectiveness of mitigation measures

Po izvedbi omilitvenih ukrepov je treba spremljati njihovo učinkovitost, da ocenimo, ali so ukrepi ustrezni in zadostni za zagotavljanje migracijskih koridorjev za prostoživeče živali. Spremljanje učinkovitosti ukrepov je pomembno, saj nekateri ukrepi oziroma strukture lahko zmanjšajo premikanje živali in povezljivost prostora ter imajo negativen vpliv na erozijo in pašo (npr. varovalne ograje). Nekatere vrste potrebujejo več časa, da se prilagodijo na železniški promet ter na implementacijo ukrepov in zato mora biti monitoring dolgoročen (Yang in Xia, 2008; Soanes in sod., 2013). Predlagan (Carvalho in sod., 2017) je naslednji postopek za izdelavo ocene učinkovitosti omilitvenih ukrepov, izvedenih na železnicah:

- Med identificiranimi vrstami, ki zahtevajo omilitvene ukrepe (tarčne vrste), izbrati vrsto, ki bo uporabljena za vrednotenje.



Slika 4: Večnamenski podhod pod železniško progo Bled-Bohinjska Bistrica v bližini kraja Nomenj (foto: S. Al Sayegh Petkovšek, 2020)

Fig. 4: Multi-purpose underpass beneath the Bled-Bohinjska Bistrica railway near the town of Nomenj (photo: S. Al Sayegh Petkovšek, 2020)

- Izbrati ciljne parametre, ki so najbolj povezani z namenom uporabljenih omilitvenih ukrepov (število trkov (povoz), število prehajanj, populacijski parametri itd.).
- Oblikovati/zasnovati raziskavo, v kateri so določeni način, čas in območje vzorčenja. Če je mogoče, se na odsekih z implementiranimi omilitvenimi ukrepi in kontrolnih odsekih uporablja metoda »BACI« (angl. BACI: *Before-After-Control-Impact*). Kontrolni odseki so lahko isti odseki pred izvedbo ukrepov ali odseki z enakimi značilnostmi, vendar brez izvedenih ukrepov.
- Izbrati primerne lokacije (vzorčna mesta) na raziskovalnem in kontrolnem območju, tako da bosta vrednotenje in primerjava najboljša.
- Določiti sheme oziroma program vzorčenja, vključno s številom vzorčnih mest, pogostnostjo vzorčenj, število ponovitev itd.
- Izbrati najprimernejše dodatne parametre (značilnosti železnice, tip ograje, zagotovitev protihrupnih ograj, človeška navzočnost (okoljska infrastruktura), obstoj vegetacije, hitrost vlakov itd.).
- Izbrati najprimernejšo metodo (prednost imajo metode, ki sočasno spremljajo večje število vrst) in način, kako minimizirati napake. Številčnost in razširjanje (disperzijo) vrst lahko predvidimo in ocenimo z uporabo ustreznih metod (uporaba cenusa in modeliranja prostorske porazdelitve vrst, metoda lova, markiranja in ponovnega ulova, upo-

raba peščenih blazin, telemetrične študije, foto-video-monitoring), vključno z molekularno-genetskimi analizami populacij (Balkenhol in Waits, 2009; Clauzel in sod., 2013). Molekularne ((neinvazivne) genetske) raziskave so vse bolj uporabno orodje, ki je primerno za večje živali, katerih ostanke (trupla, dlake, peresa, iztrebki, urin, slina) lahko najdemo in iz njih izoliramo DNK. Najpogosteje se uporabljajo za določitev genetskih lastnosti subpopulacij, ki jih ločuje železnica, ali za identifikacijo posameznih osebkov in določitev številčnosti populacij.

5 ZAKLJUČKI

5 CONCLUSIONS

Na podlagi analize in sinteze del, ki obravnavajo omilitvene ukrepe na območju železniške infrastrukture, lahko zaključimo:

- Zavedanje o pomenu raziskav, ki obravnavajo vplive železniške infrastrukture na prostoživeče živali, se v slovenskem prostoru in globalno povečuje, vključno z zavedanjem o njihovi uporabni vrednosti, ki jo imajo omilitveni ukrepi. Le-ti so namenjeni zmanjšanju negativnega vpliva na živali, ki nastaja zaradi bariernega učinka in povečanja umrljivosti prostoživečih živali zaradi trkov z vlaki na območju železniške infrastrukture.
- Poleg predstavitve omilitvenih ukrepov in primerov dobre prakse na območju železnic je pomemben tudi prenos teh spoznanj k ciljnim uporabni-

kom, kot so npr. Slovenske železnice. S tem namenom smo oblikovali predlog protokola za določitev in izvedbo ukrepov za zagotavljanje migracijskih koridorjev za prostoživeče živali, ki ga bo možno uporabiti v procesu načrtovanja in nadgradnje ter posodobitve železniških prog v Sloveniji.

- Predlagani protokol sledi splošnim usmeritvam za zmanjšanje bariernega učinka železniške infrastrukture ter vključuje ugotovitve raziskav poveza prostoživečih živali na območju slovenske železniške infrastrukture, ki smo jih izvedli za obdobje 2015–2019. Faze predlaganega protokola vsebujejo: (a) analizo prostora za oceno vplivov železniške infrastrukture na ciljne vrste prostoživečih živali, vključno z analizo poveza in identifikacijo črnih točk na izbranih odsekih železniških prog; (b) izbor in načrtovanje ukrepov za zagotavljanje povezljivosti in zmanjšanje poveza; (c) izvedbo ukrepov (gradnja); (d) monitoring učinkovitosti ukrepov po izgradnji oziroma v obdobju obratovanja železniških prog.

6 POVZETEK

6 SUMMARY

In this review article, we presented mitigation measures and a proposed protocol aimed at minimizing the barrier effects of railway networks on wildlife. We reviewed mitigation measures and best practices to facilitate wildlife passage and improve ecological connectivity (overpasses and underpasses) and reduce wildlife mortality (fencing, deterrence measures, physical barriers and structures, artificial deterrence measures, reducing the speed of trains, management of habitats and wildlife populations near rail infrastructure, wildlife escape systems). We focused on measures that have been discussed or implemented for railway infrastructure, as well as recent research that has examined the feasibility of using alternative mitigation measures, such as the warning system used in Canada and Sweden.

We based the protocol on relevant literature and previous research, as well as our own experience in planning and implementing monitoring measures to reduce wildlife mortality (with a focus on ungulates) on roads, expressways and highways. We also analysed collisions between wildlife and trains on the Slovenian railroad network over a selected five-year period. In the case of Slovenia, the protocol for mitigating the impact of railroad barriers mainly refers to the modernization of the existing railway infrastructure, which is a priority for future investments of Slovenian Railways. It can also be applied to the construction of new railway lines. The protocol consists of several phases: (i) a spatial

analysis of the study area to assess the impact of railroad infrastructure on target species and their habitats, including an analysis of wildlife-train collisions (WTC) and identification of hotspots on selected railway sections; (ii) selection of measures to ensure connectivity and reduce mortality; (iii) implementation of measures (construction) and (iv) monitoring the effectiveness of the implemented mitigation measures.

Spatial analysis involves assessing habitats and populations of target species, as well as considering the natural and sociogeographic features of the study area and WTC data. Additionally, it provides an overview of the importance of each area for ecological connectivity and wildlife migration. By overlaying these data with spatial data on existing and future railway lines, we can identify sections that pass through ecologically sensitive habitats and determine locations where it is necessary to establish wildlife passages or/and implement other mitigation measures. Adequate WTC data on railway lines passing through these areas can also play an important role in informing this decision. Criteria have been proposed for identifying (sub) sections of Slovenian railway lines with elevated WTC of large mammals (free-living ungulates and large animals). This involves the identification of aggregations of WTCs or “hotspots”. For subsections of railway that have been identified as having an average WTC of ≥ 0.30 individuals/km and are undergoing upgrades or reconstruction, it is appropriate to conduct a spatial analysis of impacts on target species, identify WTC “hotspots” and propose appropriate mitigation measures. Railroad segments with somewhat lower average WTC (0.20 to 0.29 individuals/km) may be subject to further analysis and procedures, particularly if the number of collisions with species of conservation concern (e.g. brown bear) is high. It should be emphasized that the proposed criteria were formulated at the national level and therefore, in specific situations, local ecological conditions must be taken into account and the criteria adjusted accordingly.

As part of the spatial analysis, it is useful to carry out an inspection and evaluation of the suitability of the existing measures. This involves checking the technical characteristics of the existing fauna passages (height, width, design) and fences, as well as their placement and the anthropogenic disturbances in their surroundings. To assess their use by wildlife, monitoring the use of the fauna passages can be carried out using various methods (e.g. recording footprints with sand pads, recording animal tracks, installing cameras). The analysis of WTC can also provide essential insights. Based on the results of the initial phase, we may conclude

that no mitigation is needed and/or propose improvements to the usability of existing fauna passages and suggest new mitigation measures.

After confirming the need for mitigation measures, the next phase is to select appropriate locations for the placement of faunal passages, determine the frequency (density) of passages along rail lines, and select appropriate types and dimensions of faunal passages or appropriate mitigation measures. The type of faunal passage selected will depend on the conservation value of the study area (habitat types), the characteristics of the terrain through which the transportation infrastructure passes, and the animal species or taxonomic groups for which the feature is intended. At the same time, it is important that fauna passages are designed to be used by as many species as possible. However, the location of fauna passages is equally or even more important than their technical suitability. Fauna passages that are poorly sited and integrated into the environment will not be effective, regardless of their appropriate size.

Once mitigation measures have been implemented, their effectiveness must be verified through monitoring. An appropriate method is to monitor selected parameters (e.g. number of crossings, population parameters) before and after the implementation of measures in the study area (railway section with localised bridging facilities and measures) and in the control area.

ZAHVALA

ACKNOWLEDGEMENTS

Podatke o povozih na območju slovenske železniške infrastrukture smo analizirali v sklopu projektne naloge »Strokovne podlage za izdelavo navodil in tehničnih specifikacij za zagotovitev migracijskih koridorjev živali na območju železniške infrastrukture«, ki jo je financirala Direkcija RS za infrastrukturo. V sklopu te naloge je bil oblikovan tudi predlog protokola za zagotovitev migracijskih koridorjev za prostoživeče živali. Financer je pokazal hvalevreden interes za reševanje tovrstne problematike in se mu ob tej priložnosti zahvaljujemo.

VIRI

REFERENCES

- Adamič M., Hönigsfeld Adamič M., Berce T., Gregorc T., Nekrep I., Šemrl M. 2012. Živali in promet: priročnik. Lutra, Inštitut za ohranjanje naravne dediščine.
- Al Sayegh Petkovšek S., Klemen K., Pokorny B. 2019. Strokovne podlage za zagotovitev ustreznih migracijskih koridorjev velikih zveri in drugih vrst velikih sesalcev na AC odseku Vrhnika – Postojna. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja.
- Al Sayegh Petkovšek S., Klemen K., Pokorny B. 2020. Strokovne podlage za izdelavo navodil in tehničnih specifikacij za zagotovitev migracijskih koridorjev živali na območju železniške infrastrukture. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja.
- Al Sayegh Petkovšek S., Klemen K., Pokorny B. 2021a. Odvračanje divjadi iz AC in HC: Zaključno poročilo. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja.
- Al Sayegh Petkovšek S., Kunej U., Alagić A., Flajšman K., Levanič T., Pokorny B. 2021b. Namestitvev zvočnih in svetlobnih (modrih) odvrčal za divjad na odsekih državnih cest v letih 2018–2020: zaključno poročilo monitoringa. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja; Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije.
- Al Sayegh Petkovšek S., Pavšek Z., Pokorny B. 2016. Monitoring of the effectiveness of mitigation measures in Slovenia. Monitoring prepared for C.4 action of the LIFE DINALP BEAR (LIFE13 NAT/SI/000550). Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.
- Al Sayegh Petkovšek S., Pavšek Z., Pokorny B. 2017. Monitoring of the effectiveness of mitigation measures in Slovenia. Monitoring prepared for C.4 action of the LIFE DINALP BEAR (LIFE13 NAT/SI/000550). Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.
- Al Sayegh Petkovšek S., Pokorny B., Pavšek Z., Jerina K., Krofel M., Ličina T. 2015. Action plan for the implementation of mitigation measures for reducing road mortality of brown bear in Slovenia. Action plan prepared within A.4 action of the LIFE DINALP BEAR (LIFE13 NAT/SI/000550). Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.
- Andreassen H.P., Gunderse H., Storaashe T. 2005. The effect of scent-marking, forest clearing and supplemental feeding on moose-train collisions. *Journal of Wildlife Management*, 69: 1125–1132.
- Berliner-kurier, 2017. <https://www.berliner-kurier.de/news/panorama/norweger-schockiert-blutiges-rentier-massaker---mehrals-100-tiere-tot-28963502> (november, 2017).
- Babińska-Werka J., Krauze-Gryz D., Wasilewski M., Jasińska K. 2015. Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals. *Transportation Research D*, 38: 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.021>
- Backs J.A.J., Nychka J.A., St. Clair C.C. 2020. Warning systems triggered by trains increase flight-initiation times of wildlife. *Transport Research Part D*, 87, 102502: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102502>
- Backs J.A.J., Nychka J.A., St. Clair C.C. 2017. Warning systems triggered by trains could reduce collisions with wildlife. *Ecological Engineering Part A*, 106: 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.024>
- Balkenhol N., Wait L.P. 2009. Molecular road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. *Molecular Ecology*, 18: 4151–4164. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04322.x>
- Barrientos R., Ascensão F., Beja P., Pereira H. M., Borda-de-Água L. 2019. Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. *European Journal of Wildlife Research*, 65, 12. <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1248-0>
- Barrientos R., Borda-de-Agua L. 2017. Railways as barriers for wildlife: current knowledge. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H. M. (ur.). *Railway ecology*. Cham, Springer International Publishing AG: 43–64. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_4
- Becker E.F., Grauvogel C.A. 1991. Relationship of reduced train speed on moose-train collisions in Alaska. *Alces*, 27: 161–168.
- Belant J.L. 1995. Moose collisions with vehicles and trains in Northeastern Minnesota. *Alces*, 31: 1–8.

- Bertwistle J. 2001. Description and analysis of vehicle and train collisions with wildlife in Jasper National Park, Alberta Canada, 1951-1999. V: Irwin C.L., Garrett P., McDermott K.P. (ur). Proceedings of the 2001 International conference on ecology and transportation. Raleigh, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University.
- Bhardway M., Olsson M., Hakansson E., Soderstrom P., Seiler A. 2022. Ungulates and trains – Factors influencing flight response and detectability. *Journal of Environmental Management*, 313, 114992: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114992>
- Bil M., Andrašik R. 2020. The effect of wildlife carcasses underreporting on KDE+ hotspots identification and importance. *Journal of Environmental Management*, 257, 11254: 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.11254>
- Bil M., Andrašik R., Janoška Z. 2013. Identifications of hazardous road locations of traffic accidents by means of kernel density estimation and cluster significance evaluation. *Accident analysis and prevention*, 55: 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.003>
- Borda-de-Água L., Barrientos R., Beja P., Pereira M. 2017. Railway ecology. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. (ur). *Railway ecology*. Cham, Springer International Publishing AG: 3–10. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_1
- Carvalho F., Santos S.M., Mira A., Lourenço R. 2017. Methods to monitor and mitigate wildlife mortality in railways. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. (ur). *Railway ecology*. Cham, Springer International Publishing AG: 23–42. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_3
- Clauzel 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: 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.04.018>
- Clevenger A.P., Chruszcz B., Gunson K.E. 2001. Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 29, 2: 646–653. <https://www.jstor.org/stable/3784191> (16. 8. 2023).
- Cserkés Z., Farkas J. 2015. Annual trends in the number of wildlife-vehicle collisions on the main linear transport corridors (highway and railway) of Hungary. *North-Western Journal of Zoology*, 11, 1: 41–50. https://biozoojournals.ro/nwzj/content/v11n1/nwzj_141707_Cserkesz.pdf (18. 8. 2023).
- Dorsey B., Olsson M., Rew L.J. 2015. Ecological effects of railways on wildlife. V: Van der Ree R., Smith D.J., Grilo C. (ur). *Handbook of road ecology*. West Sussex, Wiley: 219–227. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch26>
- Dulac M. 2013. Global and land transport infrastructure requirements: estimating road and railway infrastructure capacity and costs to 2050. International Energy Agency. https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/transportinfrastructureinsights_final_web.pdf (16. 8. 2023).
- Eriksson C. 2014. Does tree removal along railroads in Sweden influence the risk of train accidents with moose and roe deer? Dissertation, Second cycle, A2E. Grimsö och Uppsala, SLU, Dept. of Ecology, Grimsö Wildlife Research Station. <https://core.ac.uk/download/pdf/20380325.pdf> (16. 8. 2023).
- Recommendations for the reduction of habitat fragmentation caused by transport infrastructure development: TEWN Manual. 2010. Radolfzell, EuroNatur Foundation.
- Favilli F., Bil M., Sedonik J., Andrašik R., Kasal P., Agreiter A., Streifender T. 2018. Application of KDE+ software to identify collective risk hotspots of ungulate-vehicle collisions in South Tyrol, North Italy. *European Journal of Wildlife Research*, 64: 64–59. <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1214-x>
- Gangatharan A., Pollock S., Gilhooly P., Friesen A., Dorsey B., St. Clair C.C. 2017. Grain spilled moving trains create a substantial wildlife attractant in protected area. *Animal Conservation*, 20, 5: 391–400. <https://doi.org/10.1111/acv.12336>
- Gilhooly P.S., Nielsen S.E., Whittington J., St. Clair C.C. 2019. Wildlife mortality on roads and railways following highway mitigation. *Ecosphere* 10, 2, e02597: 1–16. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2597>
- 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, 1: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.001>
- Gundersen H., Andreassen H.P. 1998. The risk of moose *Alces Alces* collision: a predictive logistic models for moose-train accidents. *Wildlife Biology*, 4, 2: 103–110. <https://doi.org/10.2981/wlb.1998.007>
- Helldin J.O., Seiler A., Olsson M., Norin H. 2011. Klövviltolyckor på järnväg: kunskapsläge, problemanalys och åtgärdsförslag = Ungulate-train collisions in Sweden—review, GIS-analyses and train-drivers experiences. Trafikverket, Swedish Transport Administration. https://www.researchgate.net/publication/261062784_Ungulate-rain_collisions_in_Sweden_-_review_GIS-analyses_and_train_drivers_experiences_in_Swedish_Klöv_viltolyckor_pa_jarnvag_kunskapslage_problemanalys_och_atgardsforslag_-_Trafikverket_Publ_2011-05#fullTextFileContent (16. 8. 2023).
- Heske E.J. 2015. Blood on tracks: track mortality and scavenging rate in urban nature preserves. *Urban Naturalist*, 4: 1–13.
- Huijser M.P., Duffield J.W., Clevenger A.P., Ament R.J., McGowen P.T. 2009. Cost-benefit analyses of mitigation measures aimed at reducing collisions with large ungulates in the United States and Canada; a decision support tool. *Ecology and Society*, 14, 2: 15.
- International Union of Railways (IUR). 2022. Sustainability, European Railways: strategy and action for biodiversity: rEvERse final report. Paris, International Union of Railways. https://uic.org/IMG/pdf/uic_reverse_strategy_and_actions_for_biodiversity.pdf (16. 8. 2023).
- Iuell B., Bekker G.J., Cuperus R., Dufek J., Fry G., Hicks C., Hlaváč V., Keller V.B., Rosell Pagès C., Sangwine T., Tørsløv N., Le Maire Wandall B. (ur.) 2003. COST 341: habitat fragmentation due to transportation infrastructure: wildlife and traffic: a European handbook for identifying conflicts and designing solutions. Brussels, KNNV Publishers.
- Jasinska K.D., Babinska-Werka J., Krauze-Gryz D. 2022. A test of wildlife warning reflectors as a way to reduce risk of wildlife-train collisions. *Nature Conservation*, 47: 303–316. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.73052>
- Jelenko Turinek I., Al Sayegh Petkovšek S., Pavšek Z. 2018. Monitoring of the effectiveness of mitigation measures in Slovenia: monitoring prepared for C.4 action of the LIFE DINALP BEAR (LIFE13 NAT/SI/000550). Velenje, Eurofins ERICo Slovenija.
- Jelenko Turinek I., Poličnik H., Pokorny B. 2011. Monitoring in analizi učinkovitosti izvedenih ukrepov za preprečevanje trkov vozil z divjadjo: končno poročilo. Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.
- Jelenko Turinek I., Poličnik H., Pokorny B., Marolt J. 2012. Vpliv zvočnih odvrtač na prehajanje jelenjadi prek cest in na zmanjšanje tveganja za trke z vozili. V: Poličnik H., Pokorny B. (ur.). *Zbornik prispevkov: jelenjad, 3. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo*, Velenje, 12. november 2011. Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave: 34–44.
- Jerina K. 2006. Prostorska razporeditev, območja aktivnosti in telesna masa jelenjadi (*Cervus elaphus* L.) glede na okoljske dejavnike: doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

- Keken Z., Kušta T. 2017. Railway ecology—experiences and examples in the Czech Republic. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. (ur.). *Railway ecology*. Cham, Springer International Publishing AG: 247–260. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_15
- Kociolek A., Grilo C., Jacobson S. 2015. Flight doesn't solve everything: mitigation of road impacts on birds. V: van der Reed R., Smith D. J., Grilo C. (ur.). *Handbook of road ecology*. West Sussex, Wiley: 281–289. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch33>
- Krofel M., Al Sayegh Petkovšek S., Huber Đ., Jonozovič M., Ličina T., Pokorny B., Pavšek Z., Rejič S., Stergar M., Klemen J. 2015. Povozi medvedov na cestah in železnicah; analiza umrljivosti in akcijski načrt za preprečevanje povozov. *Lovec*, 48, 12: 612–615.
- Kusak J., Huber D., Gomerčič T., Schwaderer G., Gužvica G. 2009. The permeability of highway in Gorski Kotar (Croatia) for large mammals. *European Journal of Wildlife Research*, 55: 7–21. <https://doi.org/10.1007/s10344-008-0208-5>
- Kušta T., Holá M., Keken Z., Ježek M., Zíka T., Hart V. 2014. Deer on the railway line: Spatiotemporal trends in mortality patterns of roe deer. *Turkish Journal of Zoology*, 38, 4: 479–485. <https://doi.org/10.3906/zoo-1308-18>
- Kušta T., Keken Z., Ježek M., Kúta Z. 2015. Effectiveness and costs of odor repellents in wildlife-vehicle collisions: a case study in Central Bohemia, Czech Republic. *Transportation Research Part D*, 38: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.017>
- Langbein J., Putman R.J., Pokorny B. 2011. Road traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation. V: Apollonio M., Andersen R., Putman R.J. (ur.). *European Ungulates and their Management in the 21st century*. Cambridge University Press.
- Mattson D.J. 2019. Effects of trains and railways on Grizzly Bears: the Grizzly Bear recovery project. (Report BGRP-2019-1). Montana. Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design (second edition, revised and expanded). 2016. (Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure, number 1). Madrid, Ministry of Agriculture, Food and the Environment. https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/technical_prescriptions_wildlife_crossing_tcm7-437077.pdf (16. 8. 2023).
- Modafferi R.D., Becker E.F. 1997. Survival of radiocollared adult moose in lower Susitna river Valley, southcentral Alaska. *Journal of Wildlife Management*, 61: 540–549. <https://doi.org/10.2307/3802613>
- Muzzi P.D., Bisset A.R. 1990. Effectiveness of ultrasonic warning devices to reduce moose fatalities along railway corridors. *Alces*, 26: 37–43. <https://alcesjournal.org/index.php/alces/article/view/1143> (16. 8. 2023).
- Nezval V., Bil M. 2020. Spatial analyses of wild-train collisions on the Czech rail network. *Applied Geography*, 125, 102304: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102304>
- OSLIS. Osrednji slovenski lovsko-informacijski sistem. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije. <http://oslis.gozdis.si/> (1. 4. 2023).
- Penko Seidl N., Bevk T., Golobič M., Jerina K., Bordjan D., Hudoklin J., Hočevar I., Jenič A. 2021. Opredelitev ekoloških koridorjev na ravni SI kot podpora načrtovanju prostorskega razvoja in upravljanje narave ter drugih virov – končno poročilo, dopolnjeno po pripombah naročnika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. https://www.bf.uni-lj.si/mma/CRP_V5-1937_PORO_ILO_2021_12_09_urejeno_julij_2022.pdf (2022102709462311/?m=1666856783) (10. 10. 2023).
- Poboljšaj K., Lešnik A., Grobelnik V., Šalamun A., Kotarac M. 2019. Predlog ukrepov za zaščito dvoživk na cestah v upravljanju DARS: končno poročilo. Miklavž na Dravskem polju, Center za kartografijo favne in flore.
- Pokorny B., Bienelli-Kalpič A., Zaluberšek M. 2007a. Monitoring izvedbe prioritarnih ukrepov za preprečevanje trkov vozil z divjadjo s predlogom ustreznosti izvedenih ukrepov. Velenje, ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave.
- Pokorny B., Flajšman K., Levanič T., Mazej Grudnik Z., Pavšek Z., Jelenko Turinek I. 2016. Pregled stanja v preteklosti izvedenih ukrepov za preprečevanje trkov vozil z divjadjo s predlogom nadaljnega izvajanja ukrepov. Velenje, Visoka šola za varstvo okolja.
- Pokorny B., Poličnik H. 2008. Monitoring učinkovitosti izvedenih ukrepov za preprečevanje trkov vozil z divjadjo. Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.
- Pokorny B., Poličnik H., Savinek K., Marolt J. 2007b. Vpliv ultrazvočnih naprav na prehajanje prostoživečih parkljarjev prek državnih cest. Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave.
- Pokorny B., Poličnik H., Zaluberšek M. 2006. Trki vozil s prostoživečimi parkljarji: stanje in reševanje problematike v Sloveniji. V: 8. slovenski kongres o cestah in prometu: zbornik referatov: Portorož, 25.-27. oktobra 2006. Ljubljana, DRC - Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 58–70.
- Pokorny B., Zaluberšek M., Savinek K., Poličnik H., Marolt J. 2008. Trki vozil s srnjadjo: stanje in reševanje problematike v Sloveniji. V: Pokorny B., Poličnik H., Savinek K. (ur.). 1. slovenski posvet z mednarodno udeležbo o upravljanju z divjadjo: srnjad: knjiga povzetkov in prispevkov. Velenje, ERICo, Inštitut za ekološke raziskave: 29–34.
- Poličnik H., Pokorny P. 2011. Uporabnost večnamenskih podhodov/nahodov za prehajanje divjadi preko avtocest. *Lovec*, 44, 9: 430–434.
- Popp J.N., Boyle S.P. 2017. Railway ecology: underrepresented in science? *Basic and Applied Ecology*, 19: 84–93. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.11.006>
- Potočnik H., Al Sayegh Petkovšek S., De Angelis D., Huber Đ., Jerina K., Kusak J., Mavec M., Pokorny B., Reljič S., Rodríguez Recio R.M., Skrbinšek T., Vivoda B., Jelenko Turinek I. 2019. Priročnik za vključevanje povezljivosti in primernosti prostora za medveda v prostorsko načrtovanje: pripravljeno v okviru projekta a Life Dinalp Bear. Ljubljana, Univerza. https://dinalpbear.eu/wp-content/uploads/Life-Dinalp-Bear_Prirocnik-za-vkljucivanje-medveda_SI_low-res.pdf (16. 8. 2023).
- Putman R.J. 1997. Deer and road traffic accidents: options for management. *Journal of Environmental Management*, 51, 1: 43–57. <https://doi.org/10.1006/jema.1997.0135>
- Santos S.M., Carvalho F., Mira A. 2017. Current knowledge on wildlife mortality in railways. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. (ur.). *Railway ecology*. Cham, Springer International Publishing AG: 11–22. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_2
- Seiler A., Olsson M. 2017. Wildlife deterrent methods for Railways — an experimental study. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. (ur.). *Railway ecology*. Springer International Publishing AG: 277–291. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_17
- Seiler A., Olsson M., Helldin J.O., Norin H. 2011. Klövviltolyckor på järnväg - kunskapsläge, problemanalys och åtgärdsförslag = Ungulate-train collisions in Sweden. Borlänge: Trafikverket Publikation. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1364568&dsid=-552> (10. 10. 2023).
- Seiler A., Söderström P., Olsson M., Sjölund A. 2014. Costs and effects of deer-train collisions in Sweden. V: IENE 2014 International Conference on Ecology and Transportation, Malmö, Sweden. (Neobjavljeno).

- Silva Lucas P., Gomes de Carvalho R., Grilo K. 2017. Railway disturbance on wildlife: types, effects, and mitigation measures. V: Borda-de-Água L., Rafael Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. (ur.). *Railway ecology*. Cham, Springer International Publishing AG: 81–102. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_6
- Soanes K., Lobo M.C., Vesik P.M., McCarthy M.A., Moore J.L., van der Ree R. 2013. Movement re-established but not restored: Inferring the effectiveness of road-crossing mitigation for a guilding mammals by monitoring use. *Biological Conservation*, 159: 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.10.016>
- St. Clair C.C., Whittington J., Forshner A., Gangadharan A., Laskin D.N. 2020. Railway mortality for several mammal species increases with train speed, proximity to water, and track curvature. *Scientific Reports*, 10, 1: 20476. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77321-6>
- Staines B., Langbein J., Putman R. 2001. *Road traffic accidents and deer in Scotland*. Aberdeen, University of Aberdeen.
- Stergar M., Jerina K. 2017. Wildlife and forest management measures significantly impact red deer population density. *Šumarski list*, 141, 3/4: 139–150. <https://doi.org/10.31298/sl.141.3-4.4>
- Van der Grift E.A. 1999. Mammals and railroads: impacts and management implications. *Lutra*, 42: 77–98.
- Ward A.I., Dendy J., Cowan D.P. 2015. Mitigation impacts of roads on wildlife: an agenda for the conservation of priority European protected species in Great Britain. *European Journal of Wildlife Research*, 61: 199–211. <https://doi.org/10.1007/s10344-015-0901-0>
- Yanes M., Velasco J.M., Suárez F. 1995. Permeability of roads and railways to vertebrates: the importance of culverts. *Biological Conservation*, 71, 3: 217–222. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)00028-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)00028-0)
- Yang Q., Xia L. 2008. Tibetan wildlife is getting used to the railway. *Nature*, 452: 810–811. <https://doi.org/10.1038/452810c>
- Zuberogoitia I., del Real J., Torres J.J., Rodríguez L., Alonso M., de Alba V., Azahara C., Zabala J. 2015. Testing pole barriers as feasible mitigation measure to avoid bird vehicle collisions (BVC). *Ecological Engineering*, 83: 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.06.026>