

# Wpływ infrastruktury drogowej i kolejowej na zwierzęta dzikie

Tadeusz Kaleta

z Katedry Genetyki i Ochrony Zwierząt Instytutu Nauk o Zwierzętach SGGW w Warszawie

Ładowe wędrówki człowieka datują się od początku jego istnienia jako gatunku. Zmuszały go do tego warunki zewnętrzne (np. okresowy brak pożywienia i zmiany klimatu). Istnieją dowody na to, że już ludzie żyjący w paleolicie przemierzali znaczne odległości, dystanse sięgające nawet od Europy Zachodniej do Syberii (1). Być może istniały wówczas jakieś regularnie wykorzystywane stałe szlaki komunikacyjne, choć trudno to w tej chwili stwierdzić z całą pewnością.

W okresie historycznym człowiek w Europie, Azji i Afryce wędrował po szlakach komunikacyjnych i drogach. Te pierwsze, wykorzystywane zwykle przez kupców i ludy koczownicze, prowadziły na ogół przez ogromne tereny, bardzo często otwarte (stepy, pustynie). Za przykład może służyć Jedwabny Szlak o długości ponad 12 tys. kilometrów przez ok. 1000 lat łączący Chiny ze wschodnim wybrzeżem Morza Śródziemnego. W większej części przebiegał przez stepy, pustynie i góry, a swój szczyt świetności osiągnął w XIII wieku (2).

Początkowo szlaki komunikacyjne były po prostu ubitymi ścieżkami lub szerszymi traktami użytkowymi pierwotnie przez zwierzęta, a następnie przez kupców, pasterzy i rolników. Powstanie bitych dróg było, jak się wydaje, związane z wynalazkiem koła i udomowieniem zwierząt wykorzystywanych do prac pociągowych. Stopniowo nastąpił rozwój transportu kołowego, przy użyciu pojazdów napędzanych siłą zwierząt, przede wszystkim koni. Dwu- lub cztero-konne wozy zastosowane w celach wojskowych i cywilnych ze względu na masę i nacisk mogły sprawnie poruszać się po powierzchniach utwardzonych (3).

Pierwszą sieć dróg, które można by porównać do obecnie istniejących, stworzyli w starożytności Rzymianie. Prowincje ich rozległego imperium obejmujące większą część dzisiejszej Europy Zachodniej, Bliski Wschód i północną Afrykę łączyły szlaki komunikacyjne w postaci bitych dróg o szerokości 3 m oraz z nawierzchnią wykonaną z kamienia. Drogi rzymskie były profilowane, posiadały także kamienne obramowanie i pobocza (4). W szczytowym okresie imperium ok. 200 r. n.e. całkowita długość tego systemu dróg wynosiła 80 tys. km (2). Mniej więcej w tym samym czasie pod panowaniem dynastii Han doskonałe drogi budowali również Chińczycy. Od rzymskich różniły się tym, że miały nawierzchnię żużlową (4).

Pierwociny „pojazdów torowych” można również znaleźć w starożytności. Pomysł polegał na żłobieniu w kamiennym podłożu trasy składającej się z równoległych rowków, dopasowanych do kół pojazdu. Dobrze zachowane ślady takich konstrukcji znajdują się m.in. na Malcie oraz we włoskich Pompejach (3). Właściwa

## The effect of roads and railways infrastructure on the wildlife

**Kaleta T.**, Department of Animal Genetics and Conservation, Institute of Animal Sciences, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

Transport, roads and railways have a wide variety of ecological effects on the natural environment and wildlife. The most important direct impact is massive death toll, particularly road killing of animals as a result of collisions. Habitat fragmentation due to the roads and railways building is also significant with its far-off results (edge effect, decrease of habitat size, genetic diversity, etc). Moreover, the railway is barrier that impedes the migration of hoofed mammals. The construction of culverts and tunnels is probably the best method for species protection, particularly in the case of mammals. Some animal species however, as bats or amphibians, are more susceptible to the obstacles caused by the transportation infrastructure, thus they become seriously endangered. Then the effects of pollution of the area surrounding roads, like noise, unnecessary light, chemicals which is the separate and increasing drawback not extensively discussed in this paper. The methods of mitigation problems caused by roads/ railways infrastructure do not seem to be satisfactory.

**Keywords:** wildlife, roads, railways, collision, environment fragmentation.

kolej żelazna to znacznie późniejsza faza cywilizacji zachodniej, mianowicie rewolucja przemysłowa, która nastąpiła w Europie Zachodniej w XVIII-XIX wieku. Kluczową rolę w powstaniu tego środka transportu odegrało wynalezienie silnika parowego, a potem upowszechnienie elektryczności. Pierwsze lokomotywy, które pokazywano jako ciekawostki, pojawiły się na początku XIX wieku, ale już w 1830 r. otwarto pierwszą linię kolejową pomiędzy Londynem i Manchesterem (2). Bez rozwoju kolei trudno sobie wyobrazić intensywne uprzemysłowienie w Europie i innych częściach świata w XIX wieku oraz komunikację pasażerską na dużą skalę. Dziś najdłuższe linie kolejowe mają (w kolejności): USA, Unia Europejska, Chiny, Federacja Rosyjska, Indie i Kanada (5).

Duże zmiany następowały również w ruchu kołowym. Wynalezienie i udoskonalenie pod koniec XIX wieku silnika spalinowego (Diesel, Daimler) i opony (Dunlop) były najważniejszymi krokami w procesie stopniowego zastępowania pojazdów konnych przez mechaniczne – samochody (2). Interesujące, że idea „samobieżnych” machin napędzanych siłą mięśni ludzkich pojawiła się także w starożytności, ale stanowiły one wówczas margines (3).

W pierwszej połowie XX wieku nastąpił intensywny rozwój dróg. W latach 20. istniała już Autostrada Lincoln przecinająca kontynent amerykański od Nowego Jorku do San Francisco. W 1956 r. rozpoczęto w USA budowę sieci autostrad międzystanowych.

Tabela 1. Sieć i gęstość dróg na świecie

Państwo	Długość dróg (km)	Gęstość dróg (km/km <sup>2</sup> )	Rok
USA	6 853 024	0,71	2019
Unia Europejska	6 250 547	1,48	2014–2018
Indie	6 215 797	1,89	2020
Chiny	5 198 000	0,54	2020
Brazylia	2 000 000	0,23	2018
Federacja Rosyjska	1 529 373	0,09	2019
Francja	1 053 215	1,91	2011
Republika Południowej Afryki	750 000	0,61	2016
Niemcy	664 480	0,18	2020
Szwecja	573 134	1,27	2016
Wielka Brytania	424 129	1,75	2020
Polska	423 997	1,36	2020
Świat	<b>64 285 009</b>	<b>0,47</b>	<b>2013</b>

Źródło: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_countries\\_by\\_road\\_network\\_size](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_road_network_size) (dostęp 28.11.2021 r.)

Jednocześnie rozpoczęła się produkcja samochodów na dużą skalę. Tak np. w latach 1913–1927 wyprodukowano 15 mln egzemplarzy Forda T (2). Epoka powszechnej motoryzacji stała się faktem. Obecna długość i gęstość sieci dróg w wybranych państwach świata ukazują tabela 1.

### Ogólny wpływ infrastruktury na przyrodę

Zagadnienia tego nie badano do II połowy XX wieku. Refleksja na temat wpływu transportu kołowego i kolejowego na środowisko naturalne pojawiła się wraz z rozwojem ekologii i świadomością wzrostu zagrożenia, jakie niesie ze sobą dla przyrody rozwój cywilizacji. Rozwinęła się nowa dyscyplina wiedzy – geografia transportu, która m.in. bada zależności ekologiczne pomiędzy infrastrukturą a środowiskiem naturalnym. Pojęcie „ekologia dróg” pojawiło się dopiero w latach 90. XX wieku (6).

Przystępując do krótkiego omówienia tytułowego problemu, należy stwierdzić, że już sama budowa dróg i torów kolejowych wiąże się z przekształcaniem środowiska. Wycinane są drzewa, osuszane są moczary (które mają przecież specyficzną faunę i florę), zmieniana jest konfiguracja terenu (np. tworzenie nasypów kolejowych), nasadzone są nowe rośliny itd. Budowa dróg może powodować wtórne, niekorzystne zmiany, jak erozja gleby, zanieczyszczenia chemiczne, hałas i nadmierne światło. Drogi i koleje wymagają też odpowiedniego zaplecza, co dodatkowo zwiększa ingerencję w dziką przyrodę (6). Według jednego z szacunków wynika, że chociaż drogi w USA zajmują 1% powierzchni tego kraju, to wpływ infrastruktury odczuwany jest na obszarze 19 razy większym (17).

Chociaż drogi i linie kolejowe biegną często tymi samymi korytarzami, istnieje różnica we wpływie tych dwóch środków komunikacji na dziką przyrodę. Przede wszystkim na drogach jest większe nasilenie ruchu niż na liniach kolejowych. Badania pokazały, że liczba pociągów przejeżdżających w jednostce czasu

po torach, to zaledwie ok. 2% liczby pojazdów samochodowych, które przejeżdżają po pobliskiej drodze (8). Ponadto, korytarze dla torów kolejowych są węższe od dróg, a ruch kołowy jest bardziej płynny od kolejowego, w którym występują dłuższe przerwy pomiędzy poszczególnymi pociągami. Wreszcie, koleje emitują mniej zanieczyszczeń niż ruch kołowy. Pod tym względem są one generalnie bardziej przyjazne dla środowiska niż drogi (8).

Analizując bezpośredni wpływ infrastruktury na organizmy żywe, badacze wskazują na następujące zjawiska:

- 1) śmiertelność zwierząt – efekt ich kolizji z pojazdami i pociągami,
- 2) zakłócenie – zmiany głównie o charakterze zanieczyszczeń (hałas, światło itd.) negatywnie wpływające na organizmy żywe (te zagadnienia nie będą omawiane w niniejszej pracy),
- 3) pokawałkowanie habitatu, które prowadzi do zmniejszenia populacji gatunków,
- 4) wprowadzenie bariery – droga czy linia kolejowa stają zaporą trudną do przejścia,
- 5) powstanie korytarzy – co stwarza możliwość łatwiejszego przemieszczania się zwierząt (9).

Wszystkie te zjawiska, poza ostatnim, mają negatywne oddziaływania na dziką przyrodę. Niektóre z nich zostaną bardziej szczegółowo omówione w dalszej części tekstu.

### Pobocza i krawędzie

W obrębie drogi i linii kolejowej można wyróżnić także rolę specyficznych elementów, takich jak obecność pobocza (roadside) i tak zwany efekt krawędzi (edge effect). Pobocza dróg, zwłaszcza odpowiednio utrzymane (z bogatą roślinnością), mają pozytywny wpływ na zwierzęta. Bardzo często spotkać tam można rozmaite zwierzęta, a czasem są nawet miejscami przebywania reprezentantów gatunków zagrożonych w zaburzonym przez człowieka środowisku.

Z jednego z badań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii wynika, że na poboczach dróg żyło 40 z 200 gatunków ptaków należących do awifauny tego kraju, 20 spośród 50 gatunków ssaków, wszystkie 6 gatunków gadów, 5 z 6 płazów oraz 25 z 60 motyli (10). Te i inne studia wskazują, że pobocza dróg najwyraźniej mogą stanowić rodzaj naturalnych refugium.

Niemniej interesujący jak wpływ korytarza jest efekt krawędzi. Występuje on generalnie wówczas, gdy stykają się ze sobą obszary o różnej szacie roślinnej. Krawędzie mogą mieć charakter naturalny (np. pas pogorzelska w lesie) i antropogeniczny, wywołany przez człowieka. W przypadku dróg krawędź jest oczywiście strefą przylegającą do samej drogi. Jej efekt jest szczególnie widoczny w przypadku dróg leśnych. Z reguły jest on stopniowany, bo przenikanie bodźców od strony drogi jest najsilniejsze blisko niej i stopniowo słabnie (11).

W paśmie krawędzi lasu występują odmienne warunki mikroklimatyczne niż w jego wnętrzu, np. większe nasłonecznienie, większe wahania dobowe temperatur i wystawienie na działanie wiatru. W związku z tym nieco inna może być też w tym miejscu szata roślinna (11). Wpływ krawędzi na zwierzęta jest bardzo zróżnicowany. Z jednej strony wiele gatunków może znaleźć tam obfitość pokarmu, takiego jak np. owady. Z drugiej, w strefie krawędzi występuje silniejsza presja ze strony drapieżników i ptaków – pasożytów lęgowych, a poza tym bardziej dolegliwe jest działanie bodźców pochodzących od ruchu drogowego (hałas, światło, nad zanieczyszczenia chemiczne itd.). Wiele zależy oczywiście od nasilenia ruchu oraz od struktury lasu. Na przykład rozbudowany podrost i podszyt w lesie tłumią hałas, który, jak się wydaje, w tych warunkach jest głównym stresem abiotycznym dla ptaków i innych zwierząt (12). Za podsumowanie różnych badań nad reakcjami ptaków leśnych na stres drogowy można uznać obserwacje w Tajlandii, w okolicy dużej 5-pasmowej autostrady. Efekt krawędzi w lesie tropikalnym tego kraju okazał się widoczny, choć zróżnicowany. Średnie natężenie dźwięku w odległości 100 m od autostrady wynosiło 75 dB, a w odległości 800 m, 58 dB. Wśród 70 stwierdzonych w tym rejonie gatunków ptaków niektóre obserwowano w pewnej odległości od drogi, inne tylko w jej najbliższym sąsiedztwie. W tej ostatniej grupie przeważały gatunki owadożerne (13).

Wykonano również wiele badań nad wpływem strefy krawędzi na inne grupy zwierząt. Według badaczy amerykańskich chociaż duże ssaki wychodziły czasem na drogi, generalnie trzymały się w strefie krawędzi, która dla jeleniowatych wynosiła 300–400 m od drogi, a dla niedźwiedzi – 50–200 m. Ta ostatnia wartość dotyczyła dorosłych samców, ponieważ zarówno niedźwiedzie, jak i młode osobniki penetrowały strefę bliżej drogi (12).

### Kolizje zwierząt z samochodami i pociągami

Dlaczego zwierzęta wchodzi na drogi? Najprostszym wyjaśnieniem jest to, że droga przecina ich utrwalone szlaki komunikacyjne. Ponadto, jak już wspomniano, może ona pełnić rolę korytarza, a pobocze

funkcję specyficznej ostoi. Ale są zapewne i inne powody. Na drogach znajdują się zabite w wyniku kolizji z samochodami inne zwierzęta, które stanowią łatwy do zdobycia pokarm (6). Zwierzęta zmienno-ciepłne (a zwłaszcza węże) korzystają z rozgrzanej powierzchni drogi jako źródła ciepła, które wykorzystują, gdy temperatura powietrza w ciągu dnia się obniża (14). Podobne motywacje występują u przedstawicieli gatunków, które wchodzi na tory kolejowe, z tym że pokarmu poszukują tam często małe zwierzęta (ptaki, gryzonie, także nietoperze). Doskonale wiadomo, że z kolei gady chętnie wygrzewają się na kamiennych nasypach kolejowych (15).

Badania z różnych krajów wskazują, że do wypadków związanych z kolizjami częściej dochodzi jesienią i zimą, o zmroku i świcie. Wypadki na torach kolejowych występują przede wszystkim przy średnim ruchu pociągów (50–150/dzień). Natomiast mały i bardzo duży ruch znacząco zmniejszają ich liczbę (16).

W Szwecji przeprowadzono serię badań nad kolizjami ze zwierzętami zarówno na drogach, jak i na torach kolejowych. W ciągu 15 ostatnich lat odnotowano tam znaczący wzrost tych dramatycznych zdarzeń z udziałem dużych zwierząt, jak łoś (*Alces alces*), jeleni szlachetny (*Cervus elaphus*), sarna (*Capreolus capreolus*) i dzik (*Sus scrofa*). Co roku dochodziło w Szwecji do ok. 5 tys. wypadków, a liczba zabitych zwierząt tych gatunków była wyższa niż zabitych przez myśliwych. Koszty kolizji ze zwierzętami na torach szacuje się w Szwecji na 100–150 mln euro rocznie, a na drogach 250 mln euro (16).

Analiza zachowania zwierząt na torach ujawniła, że w 15% spośród 178 przypadków zwierzęta nie reagowały na nadjeżdżający pociąg. Dystans ucieczki łośi i saren był wówczas stosunkowo krótki i wynosił odpowiednio 112 i 125 m. Przy szybkości pociągu ok. 200 km/godz. dawało to zwierzętom 2 sek. na ucieczkę. Wydaje się, że ssaki na torach są bardziej zagubione wobec zbliżającego się pociągu niż na drogach wobec samochodów i gorzej oceniają ryzyko (16). A jednak wiele zwierząt nie unika obrzeża torów. Na przykład są tam obecne gryzonie, które najprawdopodobniej korzystają z relatywnie mniejszej liczby drapieżników. Wiele ptaków adaptuje się do tego środowiska, które oprócz pokarmu zapewnia im miejsca do kąpieli piaskowych. Na obrzeżach linii kolejowych znajduje też kryjówki wiele nietoperzy. Natomiast reakcje drapieżników wobec infrastruktury kolejowej są bardziej znuansowane i zależą od różnych czynników. W głębokim śniegu wilk (*Canis lupus*) korzysta ze sztucznego korytarza tworzonego przez tory. Niedźwiedzie znajdują na poboczach torowisk swoje ulubione owoce, podczas gdy lis pospolity (*Vulpes vulpes*) modyfikuje swoje terytorium, żeby uniknąć zetknięcia z torami kolejowymi (16).

W porównaniu z reakcją na pociąg zwierzęta na drogach szybciej uczą się, że jest to miejsce niebezpieczne. Ważną rolę odgrywa tu natężenie ruchu pojazdów oraz ich szybkość. Według zaprezentowanego w jednej z prac modelu niebezpieczeństwo związane z przechodzeniem przez jezdnię drogi czy autostrady gwałtownie zwiększa się dla zwierząt, gdy natężenie osiąga poziom 3000 pojazdów na dobę. Wtedy

również bardzo szybko rośnie liczba zabitych osobników, osiągając maksimum przy 6000 pojazdach na dobę, po czym przy dalszym wzroście natężenia ruchu spada. To tylko pozorny paradoks, ponieważ przy dużym natężeniu ruchu szybko wzrasta także liczba zwierząt unikających przechodzenia przez jezdnię i poszukujących jakichś innych rozwiązań (17).

Współczesna literatura naukowa udostępnia przegląd gatunków zwierząt, które ucierpiały z powodu kolizji drogowych i kolejowych. Wykaz ten jest oczywiście zmienny i uzależniony od charakteru fauny w danym terenie. W USA np. dominującą grupą wydają się być jelenie. Jak obliczono, w stanie Michigan przeciętnego dnia co osiem minut dochodzi do kolizji z tymi zwierzętami. Niepokojąco wysoka jest także liczba wypadków z niedźwiedziami. Na przykład w 2002 r. na drogach Karoliny Północnej zginęło ponad 100 baribali (*Ursus americanus*). W ciągu jednego miesiąca dane statystyczne z pięciu stanów USA donosiły o 15 tys. zabitych gadów i płazów, 48 tys. ssaków i 77 tys. ptaków. Ruch drogowy stanowi poważne zagrożenie dla unikalnej fauny Florydy, do której należy słynna „pantera florydzka” (faktycznie jest to podgatunek pumy, *Felis concolor coryi*) i jeleń z Keysów Florydy (podgatunek jelenia wirginijskiego, *Odocoileus virginianus clavium*; 18).

Badania nad wypadkami drogowymi z udziałem zwierząt prowadzono także w krajach strefy tropikalnej o dużej bioróżnorodności. W Indiach obserwowano np. wpływ trzech dróg przecinających rezerwat w stanie Tamil Nadu. W ciągu dwóch tygodni odnotowano 180 kolizji, z czego większość, bo 75% stanowiły gady i płazy. Autorzy badania stwierdzili, że do wypadków dochodzi znacząco częściej, kiedy droga jest równoległa do cieków wodnych (19). Wniosek ten potwierdziły także badania w Brazylii (20). Liczba gatunków, które odnotowano tam jako ofiary wypadków w ciągu trzech lat obserwacji, wyniosła 70, w tym 37 gatunków ptaków i 24 gatunki ssaków. Wśród ssaków były to gatunki charakterystyczne dla fauny krainy neotropikalnej; wilk grzywiasty (*Chrysocyon brachyurus*), kapibara (*Hydrochoerus hydrochoeris*) i leniwiec trójpalczasty (*Bradypus variegatus*). Stwierdzono także, że zwierzęta prowadzące nadrzewny tryb życia (jak np. leniwce) mają problem z bezkolizyjnym pokonaniem drogi, gdy obok niej znajduje się niska roślinność. Zmusza to te ssaki do wychodzenia na drogę, a w przypadku ptaków niski lot, co zwiększa ryzyko wypadku (20).

W Polsce danych statystycznych odnośnie do wypadków ze zwierzętami dostarcza „Ogólnopolski rejestr śmiertelności zwierząt na drogach”, który na podstawie indywidualnych zgłoszeń tworzy roczne raporty (21). W internecie aktualnie dostępne są trzy raporty z lat 2015–2017. W kolejnych latach obserwowano tendencję wzrostową liczby kolizji ze zwierzętami na drogach Polski. Według tego źródła do wypadków dochodziło głównie na terenach zabudowanych, następnie użytkowanych rolniczo i dopiero na trzecim miejscu w lasach. Ofiarami wypadków padały głównie zwierzęta małe i średniej wielkości, jak jeź *Erinaceus spp.* i lis pospolity. Znacznie mniejszą grupę stanowiły duże gatunki ssaków – sarna i dzik.

Największą liczbę wypadków odnotowano w województwie mazowieckim, a najmniejszą w lubuskim. Tworzenie tych opracowań należy ocenić jako cenną inicjatywę. Wydaje się jednak, że istnieje potrzeba przeprowadzenia większej liczby pogłębionych badań problemu w szczególnie obciążonych wypadkami miejscach infrastruktury w Polsce, jak to zrobiono w Szwecji i innych krajach.

## Fragmentacja habitatu

Sieć dróg i torów kolejowych powodują pokawałkowanie terenu stanowiącego często jednolity obszar występowania danego gatunku. W efekcie stopniowo powstaje zbiór mniejszych i odizolowanych od siebie płatów pierwotnego habitatu. Jest to jedna z najważniejszych konsekwencji ekologicznych rozwoju infrastruktury drogowej i kolejowej. Fragmentacja populacji jest także nasilana przez omówiony poprzednio efekt krawędzi.

Pokawałkowanie populacji może prowadzić do całkowitej utraty oryginalnego habitatu. Wraz z zagęszczaniem się dróg lub linii kolejowych dochodzi do zmniejszenia płatów terenu dostępnych dla zwierząt i ich izolacji. Nasilają się negatywne zjawiska, jak zanik zmienności genetycznej. W końcu całkowity obszar zajmowany przez populację danego gatunku staje się zbyt mały, by ją utrzymać (9).

Gęstość infrastruktury mierzy się w kilometrach na jednostkę powierzchni ( $\text{km}^2$ ). Poziom krytyczny gęstości infrastruktury zależy od gatunku, typu terenu i rodzaju drogi. Według modelu dla dzikich przeżuwczy w Szwecji gęstość dróg o wartości 0,125 zapewnia właściwe wielkości populacji. Natomiast przy gęstości 0,75  $\text{km}/\text{km}^2$  populacje stają się nieliczne i są to wyłącznie mniejsze gatunki, a gdy gęstość osiąga 1  $\text{km}/\text{km}^2$ , populacje zwierząt zanikają (9). Warto skonfrontować te liczby z danymi dotyczącymi gęstości dróg w niektórych państwach (tab. 1). Potwierdzają one formułowaną w różnych pracach opinię, że Europa jest kontynentem o największej fragmentacji środowiska naturalnego (22). Dotyczy to również obszarów chronionych. Na przykład analiza 24 włoskich parków narodowych wykazała, że 6 z nich charakteryzuje się wysoką fragmentacją wywołaną infrastrukturą, a 12 – średnią (22).

Utrata habitatu to również redukcja ogólnej liczby gatunków zwierząt, zmniejszenie ich aktywności ruchowej, zakłócenie łańcucha pokarmowego, zaburzenie takich form aktywności biologicznej, jak żerowanie, rozród oraz drapieżnictwo (23).

## Linie kolejowe i drogi jako bariery

Drogi, zwłaszcza linie kolejowe, mogą stanowić przeszkody trudne do pokonania dla zwierząt. Modelem wręcz przykładem bariery jest linia kolejowa prowadząca z Chin do Moskwy. Przecina ona step i półpustynię w Mongolii. Obszar ten należy do największych terenów trawiastych na świecie, na którym żyją endemiczne ssaki kopytne: przeżuwacze, jak gazela dżereń (*Procapra gutturosa*) i gazela dżejran, (*Gazella subgutturosa*) oraz należący do koniowatych

kułan mongolski albo dżagetaj (*Equus hemionus*). Linia kolejowa stanowi szczególnie dotkliwie utrudnienie dla dżerzeni, ponieważ przecina szlaki migracyjne tego gatunku. Gazele przenoszą się grupowo na inny teren ze względu na surową zimę, która przez brak dostępności pokarmu uniemożliwia im przeżycie. Czasami dystans wędrówki dżerzeni wynosi ponad 300 km (24).

Linia kolejowa prowadząca przez tereny Mongolii jest ogrodzona drutem kolczastym. To właśnie ostatecznie uniemożliwia zwierzętom pokonanie bariery. Jeśli rozpaczliwie próbują to zrobić, grozi im ciężkie zranienie i na ogół śmierć. Jednak zwierzęta giną również z głodu. Naukowcy, którzy badali ten problem, znaleźli na 630 km odcinku tej linii kolejowej 241 padłych gazeli, a sześć lat później 393 martwe osobniki. Udostępnione przejścia dla zwierząt nie spełniały w tym wypadku swojej roli (24).

Przykład z innej części świata, choć analogiczny do opisanego wyżej, to budowa dróg i grodzenie terenów w Afryce, gdzie tysiące ssaków kopytnych sezonowo migrowało w porze suchej na tereny, gdzie dostępna była świeża karma. Wywarło to fatalny efekt na populację niektórych gatunków, np. gnu pręgowanego (*Connochaetus taurinus*) znanego ze spektakularnych migracji. Zmuszane do życia na niesprzyjającym terenie w okresie suszy zwierzęta te padają z głodu (25).

Te i inne przykłady wskazują, że planowanie wszelkiego typu ogrodzeń, linii kolejowych i dróg, w sytuacji kiedy przebiegają przez tereny ważne przyrodniczo, powinny uwzględnić fakt, że te stworzone przez człowieka obiekty mogą stanowić barierę dla przemieszczających się zwierząt. Należy zatem zapewnić zwierzętom możliwość pokonywania barier (o czym dalej).

## Wpływ infrastruktury na niektóre grupy świata zwierzęcego

### Płazy

Jak wiele małych kręgowców naziemnych, płazy są szczególnie narażone na kolizje na drogach. Pokonywanie drogi wiąże się u nich z migracją do lub ze zbiornika wodnego, gdzie odbywa się rozród tych zwierząt. Na drogach i w ich okolicach przebywają także osobniki w trakcie żerowania (26). Dystanse przemierzane przez płazy wahają się od ok. 400 m do 10 km (27). Problem na drogach pogłębia jeszcze zachowanie się tych zwierząt wobec zbliżającego się pojazdu. Jak wynika z obserwacji, w tej sytuacji często nieruchomieją i opóźniają reakcję ucieczki. Ryzyko kolizji i śmierci płazów jest więc duże; na mniejszych drogach prawdopodobieństwo wynosi 0,34–0,61, ale na drogach szybkiego ruchu już 0,89–0,98 (26). Natomiast wpływ linii kolejowych na płazy można rozpatrywać raczej w kontekście stresorów, takich jak dźwięk, światło i zanieczyszczenia tworzone przez pociągi (27).

Wysoką śmiertelność płazów na drogach w wyniku kolizji stwierdzono w różnych badaniach. Na przykład obserwacje prowadzone na czterech drogach w USA wykazały, że grupa ta stanowiła aż 95%

wszystkich zabitych zwierząt. Z trzech innych badań wynika, że płazy (łącznie z gadami) ginęły z częstotliwością 7,6 osobników/km dziennie (28). Tak więc jest to istotny problem, gdy weźmiemy pod uwagę obserwowane współcześnie globalne giniecie tych zwierząt z różnych innych przyczyn.

### Ptaki

Podobnie jak w przypadku płazów wiele gatunków ptaków jest zagrożonych wyginięciem, w czym udział ma również rozbudowywana przez człowieka infrastruktura. W okolicy dróg ptaki wykazują wszystkie formy aktywności, jak zdobywanie pokarmu, gniazdowanie, poszukiwanie schronienia itd. Prowadzi to do wypadków. U wielu gatunków kolizje z pojazdami nasilają się w okresie rozrodu i migracji, u innych z kolei zimą. Poszczególne gatunki ptaków różnią się także, jeśli chodzi o zdolność uczenia się, że pojazdy są niebezpieczne (29). Badania wykazały również, że na drogach ptaki mają kłopoty z uniknięciem zderzenia z pojazdami poruszającymi się z szybkością 80–90 km/godz. Natomiast w przypadku pociągów najmniejsza prędkość, przy której obserwowano kolizje, to 180 km/godz. (30).

Wiele ptaków leśnych ma także kłopoty z pokonaniem pasa otwartej przestrzeni o szerokości powyżej 50 m w lesie, zwłaszcza gdy okolica zdominowana jest przez tereny użytkowane rolniczo. Przedstawiciele innych gatunków wykazują wahanie przed pokonaniem dystansu 10–30 m nad drogami nieutwardzonymi (29). Jak już wspomniano, ptaki w różny sposób reagują na pociągi. Niektóre znajdują na poboczach pokarm i doskonale adaptują się do stresujących – wydawałoby się – bodźców. Na przykład wróbel zwyczajny (*Passer domesticus*) znosi dźwięki o natężeniu do 95 db. Nie przeszkadzają mu także przejeżdżające pociągi. Z kolei bernikle (*Brantha spp.*) często nie reagują na pociągi mijające ptaki w odległości 50 m (15). Interesujące, że część gatunków najwyraźniej nie postrzega pociągu jako rodzaju drapieżnika, lecz najprawdopodobniej kojarzy go z człowiekiem. Ptaki od dawna żyjące obok ludzi, jak gołębie i wróblowate, wykazywały w obserwacjach krótszy dystans ucieczki przed pociągiem niż krukowate i drapieżne (30).

### Nietoperze

Tym zwierzętom badacze ekologii dróg poświęcili jak dotąd mało uwagi. Obserwacje prowadzono jedynie w Europie i Ameryce Północnej. Tymczasem jest to bardzo ważna grupa dla utrzymania względnej równowagi ekosystemu, co więcej, bardzo zagrożona przez zmiany cywilizacyjne. Wszystkie gatunki nietoperzy w Europie objęte są ochroną (31).

Już budowa dróg zagraża tym latającym ssakom. Ścinanie drzew redukuje liczbę miejsc nadających się na schrony. Zaburzone zostają także normalne trasy przelotów, jakie w trakcie aktywności przemierzają te zwierzęta. Zaobserwowano, że nietoperze często starają się ominąć drogi i nakładają przebyty dystans, co powoduje większy wysiłek i zużycie energii.

W jednej z obserwacji tylko kilka osobników nocka Bechsteina (*Myotis bechsteinii*) z dwóch kolonii zdecydowało się przelecieć nad 4-pasmową autostradą w Niemczech (31). Inne badanie przeprowadzone w Wielkiej Brytanii pokazało, że istnieje wyraźna zależność odwrotnie proporcjonalna pomiędzy dystansem od ruchliwej autostrady (do 90 tys. pojazdów w ciągu dnia) a aktywnością karlika drobnego (*Pipistrellus pipistrelleus*; 32).

Kolizje z pojazdami zdarzają się szczególnie tam, gdzie po obu stronach drogi istnieją dogodne dla nietoperzy warunki środowiskowe. Na prawdopodobieństwo zderzenia z jadącym samochodem wpływa również fakt, że nietoperze lecą nad drogą stosunkowo wolno (mniej niż 20 km/godz.), a wiele z nich również nisko (do 4 m od powierzchni drogi). Generalnie wysokość lotu nad drogą uzależniona jest od wysokości roślinności na jej poboczach. Określenie śmiertelności nietoperzy na drogach jest trudne. Liczenie zabitych w wyniku zderzenia osobników daje tylko pewne przybliżenie. Wiele z nich to małe zwierzęta, które po śmierci szybko zostają zjedzone przez padlinożerców. Wydaje się jednak, że wszystkie gatunki europejskich nietoperzy w jakiś sposób cierpią z powodu kolizji na drogach (31).

## Słonie

W Indiach występuje ryzyko kolizji pociągu ze słoniem (*Elephas maximus*), największym ssakiem naziemnym Azji, którego dziko żyjąca populacja systematycznie się zmniejsza. W Indiach istnieje bardzo rozwinięta sieć kolejowa o całkowitej długości trakcji 115 tys. km. Tory kolejowe przebiegają często przez lasy tropikalne i inne obszary o dużej bioróżnorodności, również przez tereny użytkowane przez słonia indyjskiego w stanach Bengal Zachodni, Assam, Keralę i w innych miejscach. W sumie, w latach 1987–2015 w wyniku kolizji z pociągami odnotowano śmierć 200 osobników. Wypadki często przebiegały nocą i były związane z aktywnością pokarmową – rajdami zwierząt na pola uprawne (33). Kolizjom ulegały częściej samce, które zamieszkują większe tereny i przemierzają dłuższe dystanse. Natomiast większa śmiertelność występowała wśród samic, które często atakowały zbliżający się pociąg, nierzadko w obronie młodych (34).

Badania prowadzone w stanie Bengal Zachodni wykazały, że kolizje pociągów ze słoniami mają dynamikę rosnącą. Proponuje się różne metody załagodzenia tego groźnego konfliktu człowieka z dzikimi i zagrożonymi wyginięciem zwierzętami. Należą do nich: ograniczenie liczby pociągów przejeżdżających nocą, zmniejszenie prędkości pociągów, zapewnienie odpowiednich przejść dla zwierząt i patrolowanie terenów obciążonych ryzykiem kolizji przez służbę leśną (33).

## Środki zaradcze

Podstawową metodą stosowaną w celu zapobieżenia negatywnym wpływom dróg na zwierzęta dzikie jest budowa bezkolizyjnych przejść. Mogą być to

przepusty, tunele, kanały i mosty. Aranżacja przestrzeni przed wejściem powinna tłumić niepokój zwierzęcia możliwy przy zetknięciu się z tego rodzaju nowym dla niego obiektem. Przejście powinno być monitorowane, najlepiej przy pomocy kamery, aby ocenić jego przydatność i zbadać, jakiego rodzaju osobniki z niego korzystają (gatunek, jeśli to możliwe płeć, wiek i inne cechy). Przejścia można budować zarówno dla zwierząt dużych, jak i małych. W 2014 r. w Polsce było 2300 takich obiektów (35).

Dla zwierząt prowadzących nadrzewny tryb życia w lasach tropikalnych (gryzonie, torbacze) buduje się wiszące mosty sznurowane rozpięte między drzewami wszerz drogi. Takie rozwiązanie zrealizowano pomyślnie np. w lasach północnej Australii (36).

Aby ograniczyć kolizje nietoperzy, konstruuje się dla nich specjalne mosty nazywane bramownicami oraz ekrany zmuszające je do wyższego lotu. Doświadczenia wykazują jednak, że to rozwiązanie raczej się nie sprawdza. Wiadomo jednak, że zwierzęta te korzystają z przejść o charakterze tuneli przeznaczonych dla innych gatunków

Dla płazów buduje się specjalne płotki (o wysokości 50 cm) oddzielające ich siedliska od drogi i naprowadzające je do bezpiecznych przejść (35). Jednakże i tutaj doświadczenia pokazują, że zaledwie kilka procent chce pokonać barierę drogi tym sposobem. Być może powodem tego jest fakt, że w tunelach nie ma światła i wystarczającej wilgoci (37).

Inne wykorzystywane rozwiązania to gradzenie dróg i torów kolejowych siatką, co może jednak okazać się niebezpieczne (jak wspomniano), instalowanie wzdłuż dróg słupów dla ssaków poruszających się lotem szybowym, odstraszanie zwierząt od dróg i torów przy pomocy światła i dźwięku, tworzenie bezpiecznych skrzyżowań z systemami radarowymi informującymi kierowcę o zbliżaniu się dużego zwierzęcia, jak jeleni czy łoś, polepszenie widoczności poprzez zmodyfikowanie przydrożnej roślinności oraz wymuszenie ograniczenia prędkości, szczególnie nocą (38).

W 2007 r. przeanalizowano wyniki 123 badań nad ograniczeniem wypadków drogowych ssaków naziemnych w skali świata przy zastosowaniu przejść o charakterze przepustów i tuneli. Okazało się, że w większości przypadków przyniosło to pożądany efekt. Przejścia te były wykorzystywane przez ssaki o różnej wielkości, od gryzoni do jeleni.

Analogicznych badań dotyczących infrastruktury kolejowej było mniej, bo tylko pięć. Skuteczność przejść również została potwierdzona, odnotowano bowiem wykorzystanie ich przez ssaki tak różne, jak gryzonie, zające, drapieżniki, torbacze i kopytne. Wiadomo, że w tym przypadku do skutecznego działania potrzebne jest ogrodzenie torów siatką, która niejako prowadzi zwierzęta do przejścia (39).

## Podsumowanie

Problem zagrożenia zwierząt przez ruch drogowy i kolejowy nie jest nowy. Już w latach 60. XX wieku szacowano liczbę ptaków zabitych w wyniku kolizji na drogach Wielkiej Brytanii na miliony osobników

(9). Pojawiły się wówczas opinie, że być może infrastruktura to najważniejszy czynnik antropogeniczny, który wpływa na zmiany na powierzchni Ziemi (6). Jednak dopiero później biolodzy i ekolodzy zdali sobie sprawę z rzeczywistych konsekwencji rozwoju dróg i linii kolejowych dla świata przyrody. Oprócz bowiem bezpośredniego wpływu na organizmy żywe istnieje jeszcze wpływ pośredni poprzez czynniki abiotyczne, jak zanieczyszczenia spalinami powietrza, gleby i wody, hałas i nadmierne światło. Zagadnienia te zostały pominięte w niniejszym tekście, ale są one jak najbardziej istotne.

Z przedstawionych danych wynika, że jeszcze wiele pracy potrzeba, by wypracować odpowiednie metody budowy dróg i linii kolejowych, aby złagodzić niedogodności dla zwierząt dzikich wynikające z rozwijającej się infrastruktury.

## Piśmiennictwo

- Uhling H.: *Jedwabny Szlak*. Wydawnictwo Książnica, Katowice 2007.
- Rodrigue J., Comtois C., Slack B.: *The Geography of Transport Systems*. Routledge, Oxon, New York 2013.
- Rossi C., Chondros T., Milidonis K., Savino S., Russo F.: Ancient road transport devices: Developments from the Bronze Age to the Roman Empire. *Front. Mech. Eng.* 2016, 11, 12–25.
- Casson L.: *Podróże w starożytnym świecie*. Ossolineum, Wrocław 1981.
- [https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista\\_kraj%C3%B3w\\_wed%C5%82ug\\_d%C5%82ugo%C5%9Bci\\_linii\\_kolejowych](https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_kraj%C3%B3w_wed%C5%82ug_d%C5%82ugo%C5%9Bci_linii_kolejowych), wersja 29.11.2021
- Coffin A.: From roadkill to road ecology: A review of ecological effects of roads. *J. Transp. Geogr.* 2007, 15, 396–406.
- Forman T.: Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conserv. Biol.* 2000, 14, 31–35.
- Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H.: *Railway Ecology*. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds.): *Railway Ecology*. Springer Open, Cham, 2017, 3–10.
- Seiler A.: *Ecological Effects of Roads. A Review*. Introductory Research Essay no 9, Department of Conservation Biology, Uppsala 2001.
- Way J.: Roadside verges and conservation in Britain: a review. *Biol. Conserv.* 1977, 12, 65–74.
- Kremsater L., Bunnell F.: Edge effects: Theory, evidence and implications to management of western North American forests. W: J. Rochelle, L. Lehmann, J. Wisniewski (eds): *Forest fragmentation; wildlife and management implications*. Brill, Leiden 1999.
- Kucharczyk M., Wiącek J.: Wstępne wyniki badań nad wpływem hałasu drogowego na ptaki w lasach Pomorza Zachodniego i Lubelszczyzny. W: Wiącek J., Kucharczyk M., Grzywaczewski G., Jerzak L. (red.): *Wybrane aspekty ekologii ptaków*. LTO, Lublin 2009. 630–640.
- Khampcha D., Corlett R., Powell L., Savini T., Lynam A., Gale G.: Road induced edge effects on a forest bird community in tropical Asia. *Avian Res.* 2018, 20, 1–13.
- Wagner r., Brune C., Popescu V.: Snakes on Lane: Road type and edge habitat predict hotspot of snake road mortality. *J. Nature Conserv.* 2021, 61, 125978.
- Lucas P., Gomez de Carvalho, Grilo C.: Railway Disturbance on Wildlife: Types, Effects and Mitigation Measures. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds.): *Railway Ecology*. Springer Open, Cham 2017, 81–102.
- Seiler A., Olsson M.: Wildlife Deterrent Methods for Railways. Experimental Study. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds): *Railway Ecology*, Springer Open, Cham, 2017, 277–292.
- B., Bekker, G.J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlaváč, V., Keller, V.M., Rosell, C., Sangwine, T., Tørslov, N.I., Wandall, B.: Habitat fragmentation due to Transportation Infrastructure. Wildlife and Traffic. W: *European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. KNNV Publisher Delft: 2003
- Havlick D.: Road Kill. Vehicle collision can be a matter of life and death, not just for individual animals but for entire species. *Conserv. Pract.* 2004, 5 (10), 30–33.
- Baskaran N., Boominathan D.: Road kill of animals by highway traffic in the tropical forest Mudumalai Tiger Reserve, southern India. *J. Threat. Taxa* 2010, 2 (3), 753–759.
- Freitas S., Sousa C., Bueno C.: Effects of landscape characteristics on roadkill of mammals, birds and reptiles in a highway crossing the Atlantic Forest in southeastern Brazil. *International Conference on Ecology and Transportation (ICOET 2013)*. Arizona. 2013.
- Kustusch K., Wuczyński A.: Śmiertelność zwierząt na drogach w Polsce w roku 2015. *Raport roczny „Ogólnopolskiego Rejestru Śmiertelności Zwierząt na Drogach”*, [www.zwierzetanadrodze.pl](http://www.zwierzetanadrodze.pl), dostęp 29.11.2021.
- Bruschi D., Garcia D., Gugliermetti F., Cumo E.: Characterizing the fragmentation level of Italian National Parks due to transportation infrastructure. *Transp. Res.* 2015, 136, 18–28.
- Fahring L.: Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annu. Rev. Ecol., Evol. Syst.* 2003, 34, 487–515.
- Ito T., Badamjav L., Tsunekava A., Shinoda M.: Habitat Fragmentation by Railways as a Barrier to Great Migrations of Ungulates in Mongolia. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds): *Railway Ecology*. Springer Open, Cham 2017, 229–246.
- Wilson J., Primack R.: *Conservation Biology in Sub-Saharan Africa*. Open Book Publishers, Cambridge 2019.
- Mazerolle M., Huot M., Gravel M.: Behavior of Amphibians on the Road in Response to Car Traffic. *Herpetologica* 2005, 61, 380–388.
- Clauzel C.: Evaluating and Mitigating the Impact of a High-Speed Railway on Connectivity: A Case Study with an Amphibian Species in France. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds): *Railway Ecology*. Springer Open, Cham 2017, 215–228.
- Glista D., De Vault T., De Woody J.: Vertebrate Road Mortality Predominantly Impacts Amphibians. *Herpetol. Conserv. Biol.* 2007, 3, 77–87.
- Kociolek A., Clevenger A., St. Clair C. Proppe: Effect of Road Networks on Bird Populations. *Conserv. Biol.* 2011, 25, 241–249.
- Malo J., Garcia de la Morena E., Hervas I., Mata C., Herrranz J.: Cross-scale Changes in Bird Behavior Around a High Speed Railway: From Landscape Occupation to Infrastructure Use and Collision Risk. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds): *Railway Ecology*. Springer Open, Cham 2017, 116–133.
- Altringham J., Kerth G.: *Bats and Roads*. W: Bats in the Anthropocene, Bats in a Changing World. Voight C., Kingston T. (eds). Springer Open, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London 2016.
- Berthinussen A., Altringham J.: The effect of a major road on bat activity and diversity. *J. Appl. Ecol.* 2012, 49, 82–89.
- Roy M., Sukumar R.: Railways and Wildlife: A Case Study of Train–Elephant Collisions in Northern West Bengal, India. W: Borda de Aqua L., Barrientos L., Beja P., Pereira H. (eds): *Railway Ecology*. Springer Open, Cham 2017, 157–177.
- Joshi R., Puri K.: Train–elephant collision in a biodiversity rich landscape: a case study from Rajaji National Park, north India. *Hum–Wildl Interact.* 2019, 13, 370–381.
- Nowacka D.: Wpływ inwestycji drogowych na zwierzęta – działania minimalizujące. *Budownictwo i Architektura* 2014, 13, 63–73.
- Goosem M., Turton S.: *Impact of Roads & Powerlines on the Wet Tropics of Queensland World Heritage Area*. CRC for Tropical Rainforest Ecology and Management, James Cook University, Queensland 2000.
- Malt J.: Assessing the effectiveness of amphibian mitigation on the sea to the sky highway: population level effects and best management practices for minimizing highway impacts. Ministry of forests, lands and natural resource operations. Final report 2012, 1–33. [arcnet.ca/english/news/docs/FINAL%20S2S%20Monitoring%20Report\\_1\\_Oct\\_2012.pdf](http://arcnet.ca/english/news/docs/FINAL%20S2S%20Monitoring%20Report_1_Oct_2012.pdf), dostęp 29.11.2021.
- Littlewood N., Rocha R., Smith R., Sutherland W.: *Terrestrial Mammal Conservation: Global evidence for the effects of interventions for terrestrial mammals excluding bats and primates*. Synopses of Conservation Evidence Series, University of Cambridge: Open Book Publishers, Cambridge 2020.

Dr hab. Tadeusz Kaleta prof. nadzw., e-mail: [tkaleta@gazeta.pl](mailto:tkaleta@gazeta.pl)