

## **Methods for reducing the number of collisions between wild animals and rail vehicles**

### **Sposoby redukcji liczby kolizji dzikich zwierząt z pojazdami szynowymi**

*The article presents the issues of collisions between wild animals and approaching trains. The reasons for the presence of animals on the tracks are explained and the potential threats to the environment and the safety of railway traffic are described. In order to reduce the chance of an accident involving animals, the various solutions are used: infrastructure (making animals difficult to enter the tracks) and stimulus (warning against the approaching train) and supporting methods that may increase the effectiveness of other measures. The analysis of the results of research carried out in various ecosystems around the world allowed to assess the effectiveness of the most popular methods of protecting fauna against the collision with a vehicle and the innovative solutions, taking into account the psychology of animals. Their use will allow to reach a compromise between the development of transport networks, traffic safety and reduction of the impact on the natural environment.*

*W artykule przedstawiono problematykę zderzeń dzikich zwierząt z nadjeżdżającymi pociągami. Wyjaśniono przyczyny obecności zwierząt na torowiskach i opisano potencjalne zagrożenia dla środowiska, jak i dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego. W celu zmniejszenia zagrożenia wypadkiem z udziałem zwierząt stosuje się różne rozwiązania: infrastrukturalne (utrudniające wstęp zwierząt na tory) i bodźcowe (ostrzegające przed zbliżającym się pociągiem) oraz metody wspomagające, które mogą zwiększyć skuteczność działania innych środków. Analiza wyników badań przeprowadzanych w różnych ekosystemach na całym świecie pozwoliła ocenić efektywność najpopularniejszych sposobów ochrony fauny przed zderzeniem z pojazdem oraz innowacyjnych rozwiązań, uwzględniających psychologię zwierząt. Zastosowanie ich pozwoli na osiągnięcie kompromisu pomiędzy rozwojem sieci transportowych, bezpieczeństwem ruchu i redukcją oddziaływania na środowisko naturalne.*

**Keywords:** ecology, wildlife collisions, traffic safety, railway transport

**Słowa kluczowe:** ekologia, transport kolejowy, bezpieczeństwo ruchu, wypadki z udziałem dzikich zwierząt

#### **1. INTRODUCTION**

The development and modernization of railway infrastructure results in an increasing number of collisions of wild animals with vehicles [24]. The lines cross many animal habitats, forcing them to risky crossing tracks for feeding, reproduction and rest. Though for some species the tracks form so-called the behavioral barrier effect [42], which limits migration and leads to fragmentation of the environment (which has a serious negative impact on the balance of the ecosystem [25]) the straight majority of animals move perpendicular to the line, not treating the approaching trains as natural enemies or reacting too slowly when vehicles are approaching [22]. For the safety of rolling stock, collisions with large mammals or entire herds of animals are a particular threat. They can cause serious damage to the vehicle, traffic delays and, in extreme cases, also train derailment [7]. From the data of Koleje Wielkopolskie it appears that in 2019 there were over 400 collisions with wild animals, of which

#### **1. WPROWADZENIE**

Rozwój i modernizacja infrastruktury kolejowej skutkują zwiększającą się liczbą kolizji dzikich zwierząt z pojazdami [24]. Linie przecinają wiele siedlisk zwierząt, zmuszając je do ryzykownego przekraczania torów w celach żerowania, rozmnażania się i odpoczynku. Choć dla niektórych gatunków tory tworzą tzw. efekt bariery behawioralnej [42], która ogranicza migracje i prowadzi do fragmentacji środowiska, co ma poważny negatywny wpływ na równowagę ekosystemu [25], zdecydowana większość zwierząt przemieszcza się prostopadle do linii, nie traktując nadjeżdżających pociągów jako naturalnych wrogów lub reagując zbyt wolno, gdy pojazdy się zbliżają [22]. Dla bezpieczeństwa taboru szczególnym zagrożeniem są zderzenia z dużymi ssakami lub całymi stadami zwierząt. Mogą one powodować poważne uszkodzenia pojazdu, opóźnienia w ruchu oraz w skrajnych przypadkach także wykolejenie pociągu [7]. Z danych Kolei Wielkopolskich wynika, że w 2019 roku miało

64 caused damage to the rolling stock of this carrier [11]. In order to increase the traffic safety, especially in forested and sparsely populated areas [7], limitation of financial and environmental losses, the efforts are made to reduce the number of railway accidents with animals.

Many solutions developed for the motor transport were adopted by railway, but the rail transport makes it impossible to quickly change the direction and avoid the obstacle, so the methods of animal protection must be based only on preventing them from entering under the approaching train [9]. Moreover, the railway lines pose the additional threats to animals: being trapped between rails or electric shock for example from the wires supplying infrastructure or unprotected distribution board. There are used the methods that make the physical access of animals to the railway tracks difficult and those which, although are not a tight barrier, are designed to scare off animals from the tracks only when the train passes. There are also the complementary solutions that increase the effectiveness of the used measures.

## 1. THREATS TO ENVIRONMENT AND TRANSPORT

Collisions with animals and the related measurable damage are in particular experienced by the passenger trains [7], which results from the higher driving speed and the type of vehicle structure (electric or diesel multiple units are more susceptible to collision damage than heavy freight locomotives) [40]. In most cases, train arrival is delayed and the timetable is deregulated.

Although the death of animals on the tracks is not the threat to large populations (e.g. hoofed animals), it is very harmful to the protected species. From an ecological point of view, fatal collisions of vehicles with rare species of animals that live in small populations over a large territory and are characterized by low fertility (e.g. bears or lynxes) are the worst for the ecosystem because the deaths of individuals can be the threat to the entire species in a given habitat (and the straight majority of accidents is mortal to animals [14]). Other species susceptible to the behavioral barrier and collisions with vehicles are species that often migrate searching food and daily refuges (e.g. deer, wild boar) or with long seasonal migrations (reindeer, moose) [25]. The collisions with representatives of the last two groups most often result in damage to the rolling stock (including damage to the guard-iron, end sill, cooling pipes, broken windows [7]), although the collisions with herds of farm animals (sheep, cows) more often end in injuries or even the death of passengers [47].

Therefore, it is in the interest of both railway carriers and environmental protection to take preventive measures and reduce the number of accidents involving animals.

miejsce ponad 400 kolizji z dzikimi zwierzętami, z czego 64 spowodowały uszkodzenia taboru tego przewoźnika [11]. W celu podniesienia bezpieczeństwa ruchu, szczególnie na terenach zalesionych i słabo zaludnionych [7], ograniczenia strat finansowych oraz ekologicznych podejmowane są starania, aby zredukować liczbę wypadków kolejowych z zwierzętami.

Wiele rozwiązań stworzonych dla transportu samochodowego zostało zaadaptowanych przez kolej, jednak transport szynowy uniemożliwia szybką zmianę kierunku i ominięcie przeszkody, zatem metody ochrony zwierząt muszą bazować wyłącznie na powstrzymaniu ich przed wchodzeniem pod nadjeżdżający pociąg [9]. Ponadto linie kolejowe niosą dla zwierząt dodatkowe zagrożenia: uwięzienie między szynami lub porażenie prądem, na przykład z przewodów zasilających infrastrukturę lub niezabezpieczonych rozdzielni prądu. Stosuje się zarówno metody utrudniające fizyczny dostęp zwierząt do torów kolejowych oraz takie, które choć nie stanowią szczelnej bariery, mają za zadanie odstraszać zwierzęta z torów wyłącznie na moment przejazdu pociągu. Istnieją też rozwiązania uzupełniające, zwiększające skuteczność zastosowanych środków.

## 2. ZAGROŻENIA DLA ŚRODOWISKA I TRANSPORTU

Kolizji ze zwierzętami i związanych z nimi wymiennych szkód w szczególności doświadczają pociągi pasażerskie [7], co wynika z większej prędkości jazdy oraz rodzaju konstrukcji pojazdu (elektryczne lub spalinowe zespoły trakcyjne są bardziej podatne na uszkodzenia w wyniku zderzenia niż ciężkie lokomotywy pociągów towarowych) [40]. W większości zdarzeń dochodzi do opóźnień przyjazdu pociągu i rozregulowania rozkładu jazdy.

Choć śmierć zwierząt na torach nie jest zagrożeniem dla dużych populacji, np. ssaków kopytnych, jest bardzo szkodliwa dla gatunków chronionych. Z ekologicznego punktu widzenia najgorsze dla ekosystemu są śmiertelne kolizje pojazdów z rzadkimi gatunkami zwierząt, które żyją w małych populacjach na dużym terytorium i charakteryzują się małą dzietnością (np. niedźwiedzie lub rysie), ponieważ śmierć pojedynczych osobników może być zagrożeniem dla całego gatunku w danym siedlisku, a zdecydowana większość wypadków jest dla zwierząt śmiertelna [14]. Innymi wrażliwymi na barierę behawioralną i zderzenia z pojazdami są gatunki często wędrujące w poszukiwaniu pożywienia i dziennych ostoj (np. jeleniowate, dziki) lub o długich sezonowych migracjach (renifery, łosie) [25]. Zderzenia z przedstawicielami właśnie tych dwóch ostatnich grup skutkują najczęściej uszkodzeniami taboru (m.in. uszkodzeniami zagarniacza, czołownicy, przewodów chłodzenia, rozbiciem szyb [7]), choć to zderzenia ze stadami zwierząt gospodarskich (owiec, krów) częściej kończą się obrażeniami lub nawet śmiercią pasażerów [47].

### **3. REASONS OF ANIMAL PRESENCE ON TRACKS AND COLLISIONS WITH ANIMALS**

The animals cross the tracks searching the food, for the purpose of reproduction or dispersion of young specimen [25], but also when escaping from predators. Moreover, it happens that they use the tracks as a path in the case of large snow banks and walk along the line, which exposes them at greater risk than during crossing tracks transversely (and additionally the snow accumulated on the sides of the track makes escape difficult [20]). In addition, the railway lines can be an attractive feeding place for some species: rubbish and food remains thrown by people from the train, attract, among others, bears or wild boars, while the bodies of animals killed in the collision with the train may result in the presence of scavengers [14]. Cutting grass on the railway lines also encourages the herbivores to stay near the tracks [13, 25, 49].

The frequency of collisions of wild animals with trains is influenced by the nature of the landscape, the number and concentration of animals in a given area, the height of the embankment in relation to the natural area and the periods of increased animal migration. Moreover, it depends on the traffic congestion, vehicle speed, line construction technique and the closeness of human settlements [7, 25]. The higher frequency of accidents occurs at night (in particular at dusk and dawn [42]) and in autumn and winter [7, 24, 25]. This may be related to the fact that in autumn the population of hoofed animals increases, which then form larger the herds in which they migrate to winter feeding grounds [24]. Weather conditions also have an impact: the presence of thick snow cover (Scandinavian countries, Canada) results in an increased mortality of moose during the winter months [20]. Usually, the collisions occur in meadows close to forests, in poorly urbanized areas.

Climate changes, hunting and the development of tourism change the animal behavior patterns and disrupt their migration [24], which may result in increased animal confusion, linked to the unpredictability of their reactions (and a higher likelihood of collisions).

Although it is advisable to investigate and limit the route impact on the environment before the track is built, the accident prevention activities are usually carried out on the existing lines rather than during the construction of new ones [9], which may increase costs and make it difficult to select appropriate measures. On the operated lines, it is important to define the so-called hotspots, i.e. places or sections of increased risk of collision and focus on introducing the protective measures mainly in these places. The characteristics of the terrain and its specific natural features should also be taken into account in order to optimally select the methods of reducing the risk of collisions.

Podjęcie zatem działań zapobiegawczych i redukcja liczby wypadków z udziałem zwierząt jest w interesie zarówno przewoźników kolejowych jak i ochrony środowiska.

### **3. POWODY OBECNOŚCI ZWIERZĄT NA TORACH I KOLIZJI Z POCIĄGAMI**

Zwierzęta przekraczają tory w poszukiwaniu pożywienia, w celach reprodukcyjnych lub dyspersji młodych osobników [25], ale także podczas ucieczki przed drapieżnikami. Ponadto zdarza się, że wykorzystują tory jako ścieżkę, w przypadku dużych zasp śnieżnych, i idą wzdłuż linii, co naraża je na większe niebezpieczeństwo niż podczas poprzecznego przekraczania torów (i dodatkowo śnieg zgromadzony na poboczach torowiska utrudnia ucieczkę [20]). Ponadto linie kolejowe mogą być atrakcyjnym miejscem żerowania dla niektórych gatunków: wyrzucane przez ludzi z pociągu śmieci i resztki jedzenia, przyciągają m.in. niedźwiedzie lub dziki, natomiast ciała zwierząt zabitych w zderzeniu z pociągiem mogą skutkować obecnością padlinożerców [14]. Ścinana trawa na liniach kolejowych zachęca także roślinożerców do przebywania w pobliżach torów [13, 25, 49].

Na częstotliwość kolizji dzikich zwierząt z pociągami wpływa charakter krajobrazu, liczebność i koncentracja zwierząt na danym terenie, wysokość nasypu względem terenu naturalnego oraz okresy zwiększonych migracji zwierząt. Ponadto zależy ona od zagęszczenia ruchu, prędkości pojazdów, techniki wykonania linii oraz bliskość siedzib ludzkich [7, 25]. Większa częstotliwość wypadków występuje w nocy, w szczególności o zmierzchu i o świcie [42], oraz jesienią i zimą [7, 24, 25]. Może mieć to związek z tym, że w okresie jesiennym zwiększa się populacja zwierząt kopytnych, które następnie formują większe stada, w których migrują na zimowe żerowiska [24]. Wpływ mają także warunki pogodowe: obecność grubej pokrywy śnieżnej (kraje skandynawskie, Kanada) skutkuje zwiększoną śmiertelnością łośi w miesiącach zimowych [20]. Zazwyczaj do kolizji dochodzi na terenach łąkowych blisko lasów, w rejonach słabo zurbanizowanych.

Zmiany klimatu, polowania oraz rozwój turystyki zmieniają schematy zachowania zwierząt i zaburzają ich migrację [24], co może skutkować zwiększoną dezorientacją zwierząt, łącząc się z nieprzewidywalnością ich reakcji (i wyższym prawdopodobieństwem kolizji).

### **4. METODY OCHRONY ZWIERZĄT PRZED KOLIZJĄ Z POCIĄGIEM**

#### **4.1. Dobór odpowiednich środków**

Wybór sposobu zmniejszania liczby kolizji zależy w dużej mierze od powodów jej występowania, częstotliwości oraz gatunków zwierząt najbardziej narażonych na zderzenie. W zależności od środowiska klimatu i krajobrazu wypadek z innymi gatunkami zwierząt, przede wszystkim dużych ssaków, powoduje

## 4. METHODS OF PROTECTING ANIMALS AGAINST COLLISION WITH TRAIN

### 4.1 Selection of appropriate measures

The choice of reduction way of the number of collisions depends largely on the reasons for their occurrence, the frequency and the species of animals most exposed to collision. Depending on the environment, climate and landscape, the accident with other animal species (especially large mammals) causes the most damage (including both death of the animal and damage to the rolling stock). In Norway, Sweden and Canada the anti-collision activities focus mainly on accidents involving moose [34], while in southern and central Europe (including Poland) more accidents are due to the presence of roe deers, deers and wild boars on the tracks. Apart from the hoofed animals, the bears are frequently involved in collisions with trains in Europe and North America, the elephants in India, and the kangaroos in Australia [32,45]. Knowledge of animal species, their behavior and routes of migration, because each of them has different environmental preferences and patterns of operation, helps to protect them more effectively and increase the safety of train running.

### 4.2. Infrastructural methods

The most common method of reducing the risk of a vehicle collision with an animal is fencing the line with the appropriately high and dense nets, as it is done in the case of motorways and expressways [28]. Fencing the railway line is the simple and economical solution, but it makes animals to move freely and leads to fragmentation of habitats and a decrease of the genetic diversity of species in a given area, which has the catastrophic effects for the environment (much more significant than the death of individuals [42]). From the point of view of nature protection, the regulation of ecological corridors is therefore crucial. Moreover, despite the high effectiveness of the net barrier, it does not affect animals that may jump over it (e.g. during escape from the predator), fly over it or dig under it [17] – there is also a possibility that the animal will get trapped on the tracks between two nets and will not have enough space (e.g. for a run-up) to escape, even if it sees the approaching train. Occasionally it is that the net is damaged by people, which creates a gap in protection [49]. Nowadays, the fencing of longer sections of the railway line is being abandoned, limiting the use of the net as a guiding element for special animal crossings.

The construction of animal crossings, above or under the tracks, is a compromise solution, allowing the migration of animals across the track and minimizing the barrier effect of the infrastructure and effectively avoiding the collisions with the vehicle (Fig.1). Best when the crossings may be already built culverts, bridges and viaducts adapted for the purposes of animal protection, or as a planned part of the

najwięcej szkód (w tym zarówno śmierć zwierzęcia oraz uszkodzenie taboru). W Norwegii, Szwecji i Kanadzie działania antykolizyjne skupiają się głównie na wypadkach z udziałem łosi [34], podczas gdy w południowej i środkowej Europie (w tym w Polsce) więcej wypadków wynika z obecności saren, jeleni i dzików na torach. Poza zwierzętami kopytnymi często w kolizjach z pociągami w Europie i Ameryce Północnej uczestniczą niedźwiedzie, w Indiach słonie, a w Australii kangury [32,45]. Znajomość gatunków zwierząt, ich zachowania oraz dróg wędrówek migracyjnych, ponieważ każde z nich ma inne preferencje środowiskowe i schematy działania, pomaga skuteczniej je chronić i zwiększać bezpieczeństwo jazdy pociągu.

### 4.2. Metody infrastrukturalne

Najbardziej rozpowszechnionym sposobem redukcji ryzyka zderzenia pojazdu z zwierzęciem jest grodzenie linii odpowiednio wysokimi i gęstymi siatkami, tak jak robi się to w przypadku autostrad i dróg szybkiego ruchu [28]. Grodzenie linii kolejowej jest prostym i ekonomicznym rozwiązaniem, jednak uniemożliwia swobodny ruch zwierząt i prowadzi do fragmentacji siedlisk i spadku różnorodności genetycznej gatunków na danym terenie, co ma katastrofalne skutki dla środowiska, o wiele bardziej znaczące niż śmierć pojedynczych osobników [42]. Z punktu widzenia ochrony przyrody drożność korytarzy ekologicznych jest więc kluczowa. Ponadto mimo wysokiej skuteczności działania bariery siatkowej, nie działa ona na zwierzęta, które mogą ją przeskoczyć (np. podczas ucieczki przed drapieżnikiem), przelecieć nad nią lub przekopać się pod [17]. Istnieje też możliwość, że zwierzę uwięzi się na torach między dwoma siatkami i nie będzie miało dostatecznie dużo miejsca (np. na rozbieg), żeby uciec, nawet jak zobaczy nadjeżdżający pociąg. Sporadycznie zdarza się także, że siatka zostaje uszkodzona przez ludzi, co tworzy lukę w zabezpieczeniu [49]. Odchodzi się współcześnie od grodzenia dłuższych odcinków linii kolejowej, ograniczając stosowanie siatki jako elementu naprowadzającego na specjalne przejścia dla zwierząt.

Budowa przejść dla zwierząt, nad lub pod torami, jest rozwiązaniem kompromisowym, pozwalającym na migrację zwierząt w poprzek toru i minimalizację barierowego wpływu infrastruktury oraz skuteczne uniknięcie zderzeń z pojazdem (rys.1). Najlepiej, gdy przejściami mogą być wybudowane już przepusty, mosty i wiadukty, zaadaptowane do celów ochrony zwierząt lub jako zaplanowana część infrastruktury kolejowej, co ogranicza dodatkowe inwestycje finansowe, ponieważ budowa takich przejść jest kosztowna [42]. Skuteczność działania przejść dla zwierząt i zredukowania liczby kolizji pociągów ze zwierzętami zależy od ich lokalizacji, wymiarów, oświetlenia czy rodzaju powierzchni [9]. Należy także uwzględnić ich niedostępność dla ludzi (zapach człowieka blisko takiego przejścia będzie odstraszać zwierzęta) oraz wza-

railway infrastructure, which limits the additional financial investments because the construction of such crossings is expensive [42]. The effectiveness of animal crossings and reducing the number of collisions of trains with animals depends on their location, dimensions, lighting or the type of surface [9]. Their inaccessibility to people should also be taken into account (the smell of person close to such a crossing will scare animals off) and mutual interactions between species (the crossings of predators in hunting areas, e.g. wolves, can serve as traps for victims), which may affect the frequency of use [10]. An important aspect is the appropriately dense distribution of such crossings along the railway lines, which increases the costs and may cause the technical difficulties [22].

For the small and medium-sized animals it is sufficient adaptation of the pipe culverts, which were originally used for the flow of water. It consists in installing the additional shelves in the culverts and fences leading to the entrance [9,42]. Another way to protect the small animals (in particular amphibians and reptiles) are crossings on the surface of the track, directly under the rails (e.g. leaving a gap between the crushed stone and the rail foot) [9,42]. Although it could seem that small animals do not pose a threat to rail vehicle traffic (in Poland there are no statistics on the presence of small animals on the tracks - drivers simply do not notice them, so they do not report [7]), and such crossings are purely ecological, it turns out that there have been cases of blocking the turnout movement by the turtles in the Nara Prefecture of Japan [18, 19]. The animals could not get out of the rails, which resulted in the death of the animals, stopping the traffic on the railway line and significant delays. In order to avoid the further incidents West Japan Railway built a small U-shaped concrete gutters (Fig. 2) under the rails where turtles crossed the tracks, thus reducing the number of collisions.



Rys. 2. Przejścia pod szynami w prefekturze Nara [19]  
Fig. 2. Crossings under the rails in Nara Prefecture [19]

jemne interakcje między gatunkami (przejścia na terenach łownych drapieżników, np. wilków, mogą służyć jako pułapki na ofiary), które mogą wpłynąć na częstotliwość użytkowania [10]. Ważnym aspektem jest odpowiednio gęste rozmieszczenie takich przejść wzdłuż linii kolejowych, co zwiększa koszty i może sprawiać trudności techniczne [22].



Rys. 1. Przejścia pod szynami na trasie Rail Baltica [30]  
Fig. 1. Crossings under the rails on Rail Baltica route [30]

Dla małych i średnich zwierząt wystarczająca jest adaptacja przepustów rurowych, służących pierwotnie do przepływu wody. Polega ona na zamontowaniu dodatkowych półek w przepustach oraz ogrodzeń doprowadzających do wejścia [9,42]. Innym sposobem ochrony małych zwierząt (w szczególności płazów i gadów) są przejścia na powierzchni torowiska, bezpośrednio pod szynami, np. pozostawienie szczeliny między tłuczniem a stopką szyny [9,42]. Choć mogłoby się wydawać, że małe zwierzęta nie stanowią zagrożenia dla ruchu pojazdu szynowego (w Polsce nie ma statystyk dotyczących obecności drobnych zwierząt na torach – maszyniści po prostu ich nie zauważają, więc i nie raportują [7]), a takie przejścia mają charakter czysto ekologiczny, to okazuje się, że zdarzały się przypadki zablokowania ruchu zwrotnicy przez żółwie w prefekturze Nara w Japonii [18, 19]. Zwierzęta nie mogły wydostać się spomiędzy szyn, co powodowało śmierć zwierząt, zatrzymanie ruchu na linii kolejowej i znaczące opóźnienia. W celu uniknięcia dalszych incydentów West Japan Railway zbudowało niewielkie betonowe rynny U-kształtne (rys. 2) pod szynami w miejscach przekraczania torów przez żółwie, redukując tym liczbę kolizji.

W przypadku przejść pod torami dla większych zwierząt niezbędne są optymalnie duże wymiary przejścia, które jednak nie stanowi tunelu podziemnego, ponieważ wiele zwierząt niechętnie by z niego korzystało, i nie grozi zalaniem podczas nasilonych opadów [9]. Najlepszą opcją zatem są zaadaptowane

In the case of passages under the tracks for larger animals, the optimal large dimensions of the crossing are necessary, which, however, does not constitute an underground tunnel that many animals would use with reluctance and there is no risk of flooding during heavy rainfall [9]. Thus, the adapted railway bridges and viaducts are the best option, provided that only animals would use them. Railroad crossings with planted flora (so-called ecoducts) built over highways enable the connection of fragments of the environment crossed by tracks [9], but they have the disadvantage that in the case of electrified railway lines they must be built high enough above the natural terrain, which may demotivate animals to use them (because instinctively they do not want to be "in sight" of predators [42,49]). Monitoring of the effectiveness of crossings cannot be short-term because the animals change their migration routes slowly and even despite the use of guidance nets, the animals need time to get used to the built crossings [39].

### 4.3. Active methods

It is left slowly infrastructural solutions in favor of methods that allow for free migration across the tracks – which scare off the animals only when the train appears [9]. They do not create a physical, tight barrier, but they are more economically and ecologically profitable. However, the problem is the evaluation of the effectiveness of scaring off - it will never be 100% due to the unpredictability of animal behavior [51]. However, the influence of selected stimuli on the psyche of animals increases their vigilance and allows for a faster reaction in the case of a threat [9]. Among the stimuli, there are mainly smell, sound and optical (and a combination of several types). The signals can be related to the movement of the approaching vehicle or operate independently [49].

The olfactory repellants, i.e. synthetic or organic substances sprayed on the tracks or the flora around them (e.g. imitating the smells of predators and people [46]) are aimed at scaring animals away from a given place or increase vigilance. Research in Norway [9] shows that the smells have a deterrent effect on moose, but that effectiveness is variable. Similarly in Germany, at analyzing the number of collisions with deer [31], while in Denmark, the influence of affect collisions of roe deer and deer with vehicles of two chemically different repellants was not found (which was explained by the animals' quick habituation to the new smell [12]). In the Czech Republic [26] the use of repellants significantly reduced animal mortality on roads and railway lines, although a negative impact of temperature drop on the effectiveness of this method was noticed. Moreover, the method works worse in the case of large areas, therefore repellants should not be used in the wide ecological corridors, but in shorter sections with an increased risk of collision of the vehicle with animals [46].

mosty kolejowe i wiadukty, pod warunkiem, że korzystałyby z nich tylko zwierzęta. Przejścia nad torami razem z nasadzoną roślinnością (tzw. ecoducts) budowane nad autostradami, umożliwiają połączenie fragmentów przeciętego torami środowiska [9], jednak mają tę wadę, że w przypadku linii kolejowych zelektryfikowanych muszą one być zbudowane dostatecznie wysoko ponad naturalnym terenem, co może demotywować zwierzęta do korzystania z nich (ponieważ instynktownie nie chcą być „na widoku” drapieżników [42,49]). Monitoring skuteczności przejść nie może być krótkotrwały, ponieważ zwierzęta powoli zmieniają trasy migracyjne i nawet pomimo zastosowania siatek naprowadzających potrzebują czasu na przyzwyczajenie się do wybudowanych przejść [39].

### 4.3. Metody aktywne

Powoli odchodzi się od infrastrukturalnych rozwiązań na rzecz metod pozwalających na swobodną migrację przez tory - odstraszać zwierzęta tylko w przypadku pojawienia się pociągu [9]. Nie tworzą one fizycznej, szczelnej bariery, lecz są bardziej opłacalne ekonomicznie i ekologicznie. Problemem natomiast jest ocena efektywności odstraszenia – nigdy nie będzie ona stuprocentowa, z racji nieprzewidywalności zachowania zwierząt [42, 50]. Jednak oddziaływanie wybranymi bodźcami na psychikę zwierząt zwiększa ich czujność i pozwala na szybszą reakcję w przypadku zagrożenia [9]. Wśród bodźców rozróżnia się głównie zapachowe, dźwiękowe i optyczne oraz kombinację kilku rodzajów. Sygnały mogą być powiązane z ruchem zbliżającego się pojazdu lub działać niezależnie [49].

Repelenty węchowe, czyli syntetyczne lub organiczne substancje rozpylane na tory lub roślinność wokół nich, np. imitujące zapachy drapieżników i ludzi [46], mają na celu odstraszyć zwierzęta z danego miejsca lub zwiększyć czujność. Badania w Norwegii [9] wskazują, że zapachy mają odstraszący wpływ na łosie, jednak skuteczność jest zmienna. Podobnie jest w Niemczech, przy analizie liczby kolizji z jeleniami [31], natomiast w Danii nie stwierdzono wpływu oddziaływania dwóch, odmiennych chemicznie repelentów na kolizje saren i jeleni z pojazdami. Wy tłumaczono to szybkim przyzwyczajaniem się zwierząt do nowego zapachu [12]). W Czechach [26] zastosowanie repelentów znacząco zmniejszyło śmiertelność zwierząt na drogach i liniach kolejowych, choć zauważono negatywny wpływ spadku temperatury na skuteczność tej metody. Ponadto metoda działa gorzej w przypadku dużych arealów, dlatego repelenty nie powinny być stosowane przy szerokich korytarzach ekologicznych, lecz na krótszych odcinkach o zwiększonym ryzyku kolizji pojazdu ze zwierzętami [46].

The method that affects the sense of sight are reflectors (Fig. 3), located on posts along the tracks and activating when the vehicle approaches, creating the so-called light fence. It is a popular solution for collision protection on car roads, but in the case of trains it is much less effective – among other reasons, because the locomotive lights are not as strong as cars [42]. Reflective elements are higher than on the roads (due to the railway embankment), so they aren't always in the animal's line of sight. Animals rarely look up, and they differ in size, so the line of sight is at different heights [23]. The reflected light of the rail vehicle is aimed at alarming an animal that will slow down or stop before crossing the light barrier.



Rys. 3. Reflektory odblaskowe [42]  
Fig. 3. Reflective reflectors [42]

On account of its rule of operation, the method is effective only at night, while a large number of collisions with animals occur at dusk or at dawn [42]. The light is reflected outside the tracks and animals that are directly on the tracks are not alerted. Although the purchase and installation of reflectors is cheap, the disadvantage is the ineffectiveness [9, 23, 41], so this method should be complementary, used together with other means of protection against collisions and on roads with lower traffic [49].

Another method is using the appropriate sounds that scare the animals from the tracks. It is distinguished the sound signals that warn animals against the approaching vehicle and the sound barriers that constantly alert animals at the tracks, regardless of the presence of the vehicle [9]. The sound signalling can be triggered by light-sensitive sensors reacting to the approaching train. In this second case, the limitations are similar as in the visual method with reflective reflectors. Signalling works only at night [41]) or the animal motion sensors at the track. In the first case, the acoustic module can be supplemented with the reflective elements (creating a visual-acoustic module) to increase the effectiveness of animal scaring. Short, modulated sounds with a frequency of 2-5 kHz are used. The disadvantage of this solution is

Metodą działającą na zmysł wzroku są reflektory odblaskowe (rys. 3), umiejscowione na słupkach wzdłuż torów i uaktywniające się w momencie zbliżania się pojazdu, tworząc tzw. płot świetlny. Jest to popularne rozwiązanie z systemów ochrony przed kolizją na drogach samochodowych, jednak w przypadku pociągu jest o wiele mniej skuteczne – między innymi dlatego, że światła lokomotywy nie są tak mocne, jak samochodów [42]. Elementy odblaskowe znajdują się wyżej niż przy drogach (z powodu nasypu kolejowego), przez co nie zawsze znajdują się na linii wzroku zwierzęcia. Zwierzęta rzadko patrzą do góry, ponadto różnią się one rozmiarami, więc linia wzroku jest na różnych wysokościach [23]. Odbite światło pojazdu szynowego ma na celu zaniepokojenie zwierzęcia, które zwolni lub zatrzyma się przed przekroczeniem bariery świetlnej.

Z racji zasady swojego działania, metoda jest skuteczna tylko w nocy, podczas gdy duża liczba kolizji ze zwierzętami ma miejsce o zmierzchu lub o świcie [42]. Światło odbijane jest na zewnątrz torów i nie alarmuje zwierząt znajdujących się bezpośrednio na torach. Choć zakup i montaż reflektorów jest tani, to wadą pozostaje brak skuteczności [9, 23, 41], zatem metoda ta powinna mieć charakter uzupełniający, stosowany w połączeniu z innymi środkami ochrony przed kolizją i na drogach o niższym natężeniu ruchu [49].

Inną metodą jest zastosowanie odpowiednich dźwięków odstrasżających zwierzęta z torów. Rozróżnia się sygnalizację dźwiękową, która ostrzega zwierzęta przed nadjeżdżającym pojazdem i bariery dźwiękowe, które stale alarmują zwierzęta znajdujące się przy torach, niezależnie od obecności pojazdu [9]. Sygnalizacja dźwiękowa może być uruchamiana dzięki czujnikom światłoczułym, reagującym na zbliżający się pociąg, lub czujnikom ruchu zwierząt przy torowisku. W pierwszym przypadku ograniczenia są podobne jak w metodzie wizualnej z reflektorami odblaskowymi, czyli sygnalizacja działa tylko w nocy [41], natomiast w drugim przypadku moduł akustyczny może być uzupełniony elementami odblaskowymi (tworząc moduł wizualno-akustyczny) by zwiększyć skuteczność odstraszenia zwierząt. Wykorzystywane są krótkie, modulowane dźwięki o częstotliwości 2-5 kHz. Wadą tego rozwiązania jest wykorzystanie sztucznych wygenerowanych dźwięków, które nie niosą zwierzętom zrozumiałej informacji, ponadto możliwe jest ich szybkie przyzwyczajenie się do sygnału, ponieważ nie nastąpi negatywne wzmocnienie i zwierzę nie połączy sygnału z realnym zagrożeniem, więc po pewnym czasie mogą one zacząć go ignorować [15]. Podobnie nieskuteczne [31,42] wydają się być gwizdki ultradźwiękowe mocowane na pojeździe lub przy torach, które emitują one dźwięki o częstotliwości 16-20 kHz przy prędkości powyżej 60 km/h.

the use of artificial generated sounds that do not convey understandable information to the animals, moreover, it is possible that they quickly get used to the signal because there will be no negative amplification and the animal will not connect the signal with the real threat, so after some time they may start to ignore it [15]. Similarly ineffective [31,42] seem to be ultrasonic whistles mounted on the vehicle or on the tracks, which emit sounds with a frequency of 16-20 kHz at speeds above 60 km/h.

The applications of acoustic signals naturally occurring in nature is the basis for the operation of the animal protection device (abbreviated as UOZ-1) (Fig.4). It has the shape of a cylinder with a diameter of 30 cm and wa height of 110 cm. It is based on the emission of a chain of key stimuli, which motivates the animals to leave the areas of the railway tracks [22]. The sequence consists of sounds that animals instinctively associate with danger, among others with an alarm signal of jay, a dog barking, a wolf howl, a wild boar squeal [9]. This device was designed with the railway traffic in mind in cooperation with the naturalists. The sequence lasts from 30 seconds to 3 minutes, it is activated automatically at the moment of receiving a signal from the railway traffic control system detecting the train thanks to the sensors, which allows for the emission of sounds in advance, not directly in front of the vehicle [43]. It is required the integration of the scaring devices with the railway infrastructure and the power supply from the container of automatic line block or KUOZ container.

UOZs should be located densely enough along the tracks. The manufacturer recommends a distance of 70 meters [41, 44], alternately on both sides, on sections of routes most exposed to frequent collisions with wild animals. The studies carried out in Poland confirm the high effectiveness of action scaring both the herbivorous animals and predators [2, 21, 43, 44] and no signs of animals getting used to the sounds emitted [2]. Even the animals brought - up in captivity react to them instinctively [42]. An additional advantage is the possibility to change the sequence and volume of emitted sounds [50]. The use of naturally occurring the warning sounds of deer as an effective method of scaring the animals from the track was also studied in Japan [37], but in this case they were emitted from the approaching train.

An innovative way to increase the effectiveness of operation of visual and acoustic methods is the use of precise detection of the approaching train and providing advance the information about the time of its arrival to the system of scaring animal. A longer time of emission of scared signals would allow for a longer time of escape [22] and a better reaction of animals to warnings, because too sudden and strong stimuli may result in the animal panic and irrational behavior [36].

Zastosowanie sygnałów akustycznych naturalnie występującymi w przyrodzie jest podstawą działania Urządzenia Ochrony Zwierząt, w skrócie UOZ-1 (rys.4). Ma ono kształt walca o średnicy 30 cm i wysokości 110 cm i bazuje na emitowaniu łańcucha bodźców kluczowych, który motywuje zwierzęta do opuszczenia okolic torów kolejowych [22]. Sekwencja składa się z dźwięków instynktownie kojarzących się zwierzętom z niebezpieczeństwem, m.in. z sygnału alarmowego sójki, ujadania psa, wycia wilka, kwiku dzika [9]. Urządzenie to zostało zaprojektowane z myślą o ruchu kolejowym, przy współpracy przyrodników. Sekwencja trwa od 30 sekund do 3 minut, uruchamiana jest automatycznie w momencie otrzymania sygnału z systemu sterowania ruchem kolei, wykrywającym pociąg dzięki czujnikom, co pozwala na emisję dźwięków z wyprzedzeniem, a nie bezpośrednio przed pojazdem [43]. Wymagana jest integracja urządzeń przepłaszających z infrastrukturą kolejową oraz zasilanie prądem, z kontenera samoczynnej blokady linowej lub kontenera KUOZ.



Rys. 4. Urządzenie UOZ-1 ma kształt walca o średnicy 30 cm i wysokości 110 cm [23]

Fig. 4. UOZ-1 device [23]

UOZ-y powinny być umiejscowione dostatecznie gęsto wzdłuż torów. Producent zaleca odstęp 70 metrów [41, 44], naprzemiennie po obu stronach, na odcinkach tras najbardziej narażonych na częste kolizje z dzikimi zwierzętami. Badania wykonane w Polsce poświadczają wysoką skuteczność działania, odstrasza zarówno zwierzęta roślinożerne, jak i drapieżniki [2,21,43,44] oraz brak oznak przyzwyczajania się zwierząt do emitowanych dźwięków [2]. Instynktownie reagują na nie nawet zwierzęta wychowane w niewoli [42]. Dodatkową zaletą jest możliwość zmiany sekwencji oraz głośności emitowanych dźwięków [50]. Zastosowanie naturalnie występujących dźwięków ostrzegawczych jeleni jako efektywnej metody odstraszenia zwierząt z torowiska badano także w Japonii [37], jednak w tym przypadku emitowane były



Two types of detection were considered in studies conducted in Canada [3]. In the first one, the sensor transmits information about a passing train to a receiver located on a selected section with an increased risk of collision with animals, which activates the scared system. The most reliable sensors turned out to be: magnetic and vibration acceleration sensors. In the second case, the effectiveness of a single piezoelectric sensor of rail vibration reacting to approaching vehicle the vehicle to the potential collision zone was analysed. The first type of detection achieved the greater credibility of the transmitted information. The advantage of both versions of the system is the simplicity of construction and assembly without changing the railway infrastructure.

A project implemented in Sweden [36] envisages the construction of special crossings for animals at a track level (around which there will be a net guiding fence with an integrated detection system of train approaching and animal motion sensors. Only in the case of receiving both signals, presence of animals and the approaching train, the scared device will be activated. Effectiveness of different types of warning signals and the entire system will be tested.

Another method of early detection of animals on the tracks is considered in India, where the collisions of train with elephants are frequent [32, 35, 38]. The vibration sensors or seismic geophones placed in the ground at the defined distances from the railway tracks at the sites of the most frequent accidents would transmit information about the presence of large animals directly to the driver's cab or traffic control. It would make prevent a collision easier by reducing the speed of vehicle and increasing vigilance of people.

Research in Central Africa [48] shows the effectiveness of application of geophones during monitoring the elephant population in Etosha National Park. Vibration measurements with the special modules (Fig.5) reacting to the weight of a passing elephant are also analyzed in Thailand [29].



Rys. 5. Moduł pomiaru drgań wykorzystany w badaniu w Tajlandii [29]

Fig. 5. Module of vibration measurement used in the research in Thailand[29]

one z nadjeżdżającego pociągu.

Innowacyjnym sposobem na podniesienie skuteczności działania wizualnych i akustycznych metod jest zastosowanie precyzyjnej detekcji zbliżającego się pociągu i przekazanie z wyprzedzeniem informacji o czasie jego przyjazdu do systemu odstraszenia zwierząt. Dłuższy czas emisji sygnałów odstraszących pozwoliłyby na dłuższy czas ucieczki [22] i lepszą reakcję zwierząt na ostrzeżenia, bowiem zbyt nagle i silne bodźce mogą skutkować paniką zwierzęcia i irracjonalnym zachowaniem [36].

W badaniach przeprowadzonych w Kanadzie [3,4] rozważono dwa rodzaje detekcji. W pierwszym czujnik przekazuje informacje o przejeżdżającym pociągu do odbiornika znajdującego się na wytypowanym odcinku o zwiększonym ryzyku kolizji ze zwierzętami, który aktywuje system odstraszący. Najbardziej niezawodne okazały się czujniki: magnetyczny i przyspieszenia drgań. W drugim przypadku analizowano skuteczność pojedynczego piezoelektrycznego czujnika drgań szyny, reagującego na zbliżenie się pojazdu do strefy potencjalnej kolizji. Większą wiarygodność przekazywanych informacji osiągnął pierwszy rodzaj detekcji. Zaletą obu wersji systemu jest prostota konstrukcji i montażu bez zmiany infrastruktury kolejowej.

Projekt realizowany w Szwecji [36] zakłada budowę specjalnych przejść dla zwierząt na poziomie torów, wokół których będzie siatkowe ogrodzenie naprowadzające z zintegrowanym systemem wykrywania zbliżającego się pociągu i czujnikami ruchu zwierząt. Tylko w przypadku odebrania obydwóch sygnałów (obecności zwierząt i nadjeżdżającego pociągu) uruchomione zostanie urządzenie odstraszące. Skuteczność różnych typów sygnałów ostrzegawczych jak i całego systemu będzie badana.

Inny sposób wczesnego wykrywania obecności zwierząt na torach jest rozważany w Indiach, w których często dochodzi do kolizji pociągu ze słoniami [32, 35, 38]. Czujniki wibracji lub geofony sejsmiczne umieszczone w ziemi w określonych odległościach od torów kolejowych w miejscach najczęstszych wypadków, przekazywałyby informacje o obecności dużych zwierząt bezpośrednio do kabiny maszynisty lub kontroli ruchu. Ułatwiłoby to zapobiegnięcie kolizji poprzez zredukowanie prędkości pojazdu i wzmożonej czujności ludzi.

Badania w Afryce Środkowej [48] wskazują na skuteczność zastosowania geofonów podczas monitorowania populacji słoni w Parku Narodowym Etosha. Pomiary wibracji specjalnymi modułami (rys.5), reagującymi na ciężar przechodzącego słonia analizowane są także w Tajlandii [29].

Tego rodzaju czujniki wydają się być obiecującą metodą wykrywania zbliżających się dużych zwierząt, szczególnie niebezpiecznych dla ruchu kolejowego, jako alternatywa dla standardowych czujników

These types of sensors seem to be a promising method of detecting the approaching large animals (especially dangerous to the railway traffic) as an alternative to standard motion sensors, especially in areas with high animal populations such as national parks. However, their rightness of their application depends on integration with animal warning systems, because informing the traffic control or the driver is a solution prone to human error.

#### 4.4. Supplementary methods

Limiting the train speed on sections with increased activity of animals or on the popular migration routes is the effective method of reducing the collisions [7, 8, 9], however, taking into account the density of railway traffic and its purpose, that is the fast transport of passengers and cargo is not the way that is willingly implemented by the carriers [42], although it is recommended by the naturalists as the basic method of animal protection, especially in the lack of more complicated solutions [31, 32].

Cutting down the trees along the track in order to improve the visibility of the area has the different effects. In Norway, there was a decrease in the number of train collisions with moose after cutting the flora at the tracks [1] although he studies in Sweden indicated a lack of impact of such a solution [13]. Moreover, the analysis of places of the most frequent collisions in Poland, which occur more frequently in meadows rather than in the forests, [7] does not link the greater visibility of the area with a smaller number of collisions with animals. Cut and unremoved flora can also motivate herbivores to look for food by the tracks [27]. Cutting down trees and bushes would have to be regular, which increases costs, is not a fully ecological solution, because it destroys the habitats of small animals. The attempts were also made to change the animal migration routes by setting the feeders away from the collision places, so that the animals did not have to cross the highway [27]. The studies in Norway on management of moose population showed the effective influence of using the artificial feeding places on the behavior of migrating moose [33]. This solution can contribute to the reduction of the number of accidents involving the herbivores [9] by persuading them to avoid the railway lines or to cross the tracks in appropriate places where the warning systems are used.

#### 4.5. Monitoring of effectiveness of used solutions

Knowledge of the behavior of animals and the increase in their population in a given area has an impact on the assessment of the effectiveness of the taken actions [14]. Data on the potential reduction in mortality of animals as a result of collision can be obtained from reports of carrier, based on the video data (Fig.6) or independent tests of entities responsible for traffic safety.

ruchu, szczególnie w miejscach licznych populacji zwierząt, takich jak parki narodowe. Jednak słuszość ich stosowania zależy od integracji z systemami ostrzegającymi zwierzęta, ponieważ samo informowanie kontroli ruchu lub maszynisty jest rozwiązaniem podatnym na błąd ludzki.

#### 4.4. Metody uzupełniające

Ograniczenie prędkości jazdy pociągu na odcinkach o wzmożonej aktywności zwierząt lub popularnych trasach ich migracji jest skuteczną metodą redukcji kolizji [7, 8, 9], jednak biorąc pod uwagę zagęszczenie ruchu kolejowego oraz jego cel, czyli szybki transport pasażerów i ładunków, nie jest sposobem chętnie realizowanym przez przewoźników [42], choć jest zalecana przez przyrodników, jako podstawowa metoda ochrony zwierząt, szczególnie przy braku bardziej skomplikowanych rozwiązań [31, 32].

Różne skutki przynosi wycinka drzew wzdłuż torowiska, służąca polepszeniu widoczności okolicy. W Norwegii zanotowano spadek liczby kolizji pociągu z łosiami po wycięciu roślinności przy torach [1], choć badania w Szwecji wskazywały brak oddziaływania takiego rozwiązania [13]. Ponadto analiza miejsc najczęstszych kolizji w Polsce, które występują częściej na terenach łąkowych, a nie samych lasach [7], nie łączy większej widoczności terenu z mniejszą liczbą zderzeń ze zwierzętami. Ścięta i nieusunęta roślinność może także motywować roślinożerców do poszukiwania pożywienia przy torach [27]. Wycinka drzew i krzewów musiałaby być regularna, co zwiększa koszty, nie jest też w pełni ekologicznym rozwiązaniem, ponieważ niszczy siedliska drobnych zwierząt. Podejmowane były też próby zmiany tras migracji zwierząt, za pomocą ustawienia paśników z dala od miejsc kolizji, tak by zwierzęta nie musiały przekraczać drogi szybkiego ruchu samochodów [27]. Badania w Norwegii nad zarządzaniem populacją łosi wskazały na skuteczny wpływ stosowania sztucznych miejsc żerowania na zachowanie wędrujących łosi [33]. Rozwiązanie to przyczynić się może do redukcji liczby wypadków z udziałem roślinożerców [9] poprzez skłonienie ich do omijania linii kolejowych lub do przechodzenia przez tory w odpowiednich miejscach, w których zastosowano systemy ostrzegawcze.

#### 4.5. Monitorowanie efektywności wykorzystanych rozwiązań

Na ocenę skuteczności podjętych działań ma wpływ znajomość zachowania zwierząt oraz wzrostu ich populacji na danym terenie [14]. Dane na temat potencjalnego zmniejszenia śmiertelności zwierząt w wyniku kolizji można uzyskać dzięki raportom przewoźników, na podstawie danych wideo (rys.6) lub samodzielnych badań podmiotów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo ruchu.



Rys. 6. Obraz z kamery monitoring przy torowisku [42]  
 Fig. 6. Picture from camera monitoring by the track [42]

Monitoring of the methods of protection against collisions with animals should be a methodically developed test [9] to allow for reliable conclusions and possible changes in the strategy. Among the methods of observing the frequency of using the animal crossings it is included the recording of tracks on lanes with sand and recording with video cameras [28]. In the case of acoustic and visual scared methods, the video recordings with motion sensors are also used [2]. A universal method of monitoring is the analysis of carriers' data on the number of incidents on a given section.

## 5. SUMMARY

The growing railway infrastructure, the development of transport corridors and increasing speeds of vehicles cause the increase in impact of railways on the natural environment. Apart from the emission of exhaust gases into the atmosphere, among the effects of this long-term impact it can be noticed the fragmentation of habitats and disturbance of the balance of ecosystems as well as an increase in animal mortality as a result of the collision with the train [5]. This is undesirable both ecologically and for the reasons of traffic safety. An accident involving the large animals, such moose, deers, bears or elephants can cause the serious damage to the traction vehicle or locomotive, and a collision with the herd - in the extreme cases even a train derailment [7]. An important element of the analysis of collisions of wild animals with trains is the designation of places with the higher risk of collision, the so-called hotspots. This makes the measures possible to be taken on the most dangerous sections of the line. In order to prevent the undesirable situations, the different methods of protecting animals against railway accidents are used. Some of them are best implemented during the construction of railway lines (e.g. animal crossings, adapted pipe culverts), others can be implemented on already the operated routes (e.g. acoustic modules), but each of the solutions faces certain limitations: financial, operational, ecological or difficult integrity

Monitoring metod ochrony przed kolizją ze zwierzętami powinien być metodycznie opracowanym badaniem [9], aby pozwalał na wiarygodne wnioski i ewentualne zmiany strategii. Wśród metod obserwowania częstotliwości użytkowania przejść dla zwierząt rozróżnia się rejestrację tropów na pasach z piaskiem oraz rejestracja przy użyciu kamer wideo [28]. W przypadku akustycznych i wizualnych metod odstraszających stosuje się także rejestracje wideo z czujnikami ruchu [2]. Uniwersalną metodą monitoringu jest analiza danych przewoźników o liczbie incydentów na danym odcinku.

## 5. PODSUMOWANIE

Rozbudowująca się infrastruktura kolejowa, rozwój korytarzy transportowych i coraz większe prędkości poruszania się pojazdów powodują zwiększenie oddziaływania kolei na środowisko naturalne. Poza emisją spalin do atmosfery, wśród skutków tego długofalowego oddziaływania można zauważyć fragmentacje siedlisk i zaburzenie równowagi ekosystemów oraz wzrost śmiertelności zwierząt w wyniku kolizji z pociągiem [5,6]. Jest to niepożądane zarówno ekologicznie, jak i ze względów bezpieczeństwa ruchu. Wypadek z udziałem dużych zwierząt, takich jak łosie, jelenie, niedźwiedzie lub słonie, może powodować poważne uszkodzenia pojazdu trakcyjnego lub lokomotywy, a zderzenie ze stadem, w skrajnych przypadkach nawet wykołowanie pociągu [7]. Ważnym elementem analiz kolizji dzikich zwierząt z pociągami jest wyznaczenie miejsc o podwyższonym ryzyku zderzenia, tzw. hotspotów. Umożliwia to zastosowanie środków na najbardziej niebezpiecznych odcinkach linii. W celu zapobiegnięcia niepożądanym sytuacjom stosowane są różne metody ochrony zwierząt przed wypadkiem kolejowym. Niektóre z nich najlepiej realizować podczas budowy linii kolejowych (np. przejścia dla zwierząt, zaadaptowane przepusty rurowe), inne można implementować na trasach już eksploatowanych (np. moduły akustyczne), ale każde z rozwiązań napotyka pewne ograniczenia: finansowe, eksploatacyjne, ekologiczne lub utrudnionej integralności z resztą systemu kolejowego. Ograniczenia te utrudniają wybór optymalnego środka redukcji liczby kolizji dzikich zwierząt z pociągami.

Prowadzone są badania nad zwiększeniem skuteczności odstraszania zwierząt z torów, m.in. polegające na emisji sygnału ostrzegawczego z wyprzedzeniem, zanim pojawi się pociąg [2, 3, 39] lub łączenia kilku różnych metod [36]. Innowacyjne sposoby redukcji liczby kolizji z pociągami uwzględniają wpływ przyzwyczajzeń, instynktów i psychologii zwierząt [22], pozwalając im odpowiednio reagować w nowych sytuacjach. Rozwój technologii powinien sprzyjać zarówno unowocześnianiu środków transportu, jak i efektywniejszej redukcji negatywnego oddziaływania na środowisko, nie tylko ze względów ekologicznych, ale i w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu.

with the rest of the railway system. These limitations make it difficult to choose the optimal measure for reducing the number of collisions of wild animals with trains.

Research is conducted on increasing the effectiveness of scaring the animals off the tracks, among others consisting in emission a warning signal in advance before the train arrives [2, 3, 39] or combination of several different methods [36]. The innovative methods for reducing the number of collisions with trains take into account the influence of habits, instincts and animal psychology [22] allowing them to react appropriately in the new situations. The development of technology should contribute to both the modernization of the means of transport and the more effective reduction of the negative impact on the environment, not only for ecological reasons, but also to increase the level of traffic safety.

### **Bibliography/ Bibliografia**

- [1] Andreassen H.P., Gundersen H., Storaas T.: *The effect of scent? marking, forest clearing, and supplemental feeding on moose? train collisions. The Journal of Wildlife Management*, 69, 2005. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)069\[1125:TEOSFC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069[1125:TEOSFC]2.0.CO;2)
- [2] Babińska-Werka J., Krauze-Gryz D., Wasilewski M., Jasińska, K.: *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, 2015.
- [3] Backs J. A.J., Nychka J.A., St. Clair C.C.: *Warning systems triggered by trains could reduce collisions with wildlife. Ecological Engineering*, vol.106, Part A, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.024>.
- [4] Backs J. A.J., Nychka J.A., St. Clair C.C.: *Warning systems triggered by trains increase flight-initiation times of wildlife, Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102502>
- [5] Barrientos R., Borda-de-Água L.: *Railways as Barriers for Wildlife: Current Knowledge. In: Borda-de-Água L., Barrientos R., Beja P., Pereira H. (eds) Railway Ecology. Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7\_4*
- [6] Barrientos R., Ascensão F., Beja P. Pereira H., Borda-de-Água L.: *Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. Eur J Wildl Res* 65, 12, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1248-0>
- [7] Bartoszek D., Stolarski M.: *Kolizje pojazdów szynowych ze zwierzętami a bezpieczeństwo ruchu pociągów, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, t. 96, 49-58, 2013. [bwmeta1.8c538381-3b33-4b4d-98fa-a57ff98fd2d0](https://doi.org/10.1007/s10344-011-0517-y)
- [8] Belant J. L.: *Moose collisions with vehicles and trains in Northeastern Minnesota. Alces*, 31, 1–8, 1995.
- [9] Carvalho F., Santos S.M., Mira A., Lourenço R.: *Methods to monitor and mitigate wildlife mortality in railways. In: Borda-de-Água L., Barrientos R., Beja P., Pereira H. (eds) Railway Ecology. Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7\_3*
- [10] Clevenger A. P., Waltho N.: *Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. Conservation Biology*, 14, 47–56, 2000.
- [11] *Coraz więcej dzikich zwierząt ginie na torach https://regiony.rp.pl/trendy/24549-coraz-wiecej-dzikich-zwierzat-ginie-na-torach (dostęp: 13.04.2021)*
- [12] Elmeros M., Winbladh J., Andersen P. N., Madsen A. B., & Christensen, J. T.: *Effectiveness of odour repellents on red deer (Cervus elaphus) and roe deer (Capreolus capreolus): a field test. European Journal of Wildlife Research*, 57(6), 1223-1226, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10344-011-0517-y>
- [13] Eriksson C.: *Does tree removal along railroads in Sweden influence the risk of train accidents with moose and roe deer? Dissertation, Second cycle, A2E. Grimsöoch Uppsala:SLU, Department of Ecology, Grimsö Wildlife Research Station.*
- [14] Gilhooly P. S., Nielsen S. E., Whittington J., and St. Clair C.C.: *Wildlife mortality on roads and railways following highway mitigation. Ecosphere* 10(2):e02597. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2597>
- [15] Gilsdorf J.M., Hygnstrom S.E., VerCauteren Kurt C.: *Use of frightening devices in wildlife damage management. USDA National Wildlife Research Center - Staff Publications*, 227, 2013. [https://digitalcommons.unl.edu/icwdm\\_usdanwrc/227](https://digitalcommons.unl.edu/icwdm_usdanwrc/227)
- [16] Iuell, B. et al.: *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. Brusel, KNNV Publishers, 2003.*
- [17] Jackson, S. D., & Griffin, C. R.: *A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. In T. A. Messmer B. West (eds.) Wildlife and highways: Seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma, Bethesda: The Wildlife Society, 2000.*

- [18] Japan builds tunnels to help them cross rail tracks <https://www.lifegate.com/japan-tunnels-turtles> (dostęp: 13.04.2021)
- [19] Japanese rail workers build special tunnels to save turtles from train deaths <https://www.independent.co.uk/news/world/asia/japanese-rail-workers-build-special-tunnels-save-turtles-train-deaths-a6757466.html> (dostęp: 13.04.2021)
- [20] Jasińska K. D., Bijak S., Child K. N., Rea R. V.: Wzorce czasowe kolizji łosi z pociągami na terenie Kolumbii Brytyjskiej i ich wpływ na metody zapobiegające takim zdarzeniom. *Sylwan*, 164 (1), 32-40, 2020. <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019135>
- [21] Jasińska K., Werka J., Krauze-Gryz D., Wasilewski M.: Urządzenia akustyczne UOZ? I sposobem na ograniczenie kolizji z udziałem zwierząt na liniach kolejowych. *Sylwan*, 158 (2), 143-150, 2014.
- [22] Kossak S., *Zasada działania atrapy bodźców kluczowych zastosowanej w urządzeniu UOZ-1 wypłaszającym zwierzęta z torów kolei szybkiego ruchu*. W: *Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą*. Red. B. Jackowiak Warszawa – Poznań – Lublin: 173-179, 2007.
- [23] Kowal P., Jasińska K., Babińska-Werka J.: Aktywne metody ochrony zwierząt wzdłuż linii kolejowych na obszarach Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 22 (4), 463-471, 2013.
- [24] Krauze-Gryz D., Żmihorski M., Jasińska K., Kwaśny Ł., Werka J.: Temporal pattern of wildlife-train collisions in Poland. *Journal of wildlife management*, 81(8), 1513-1519, 2017.
- [25] Kušta T., Ježek M., Keken Z.: Mortality of large mammals on railway tracks. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 42, 12-18, 2011.
- [26] Kušta T., Keken Z., Ježek M., & Kůta Z.: 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, 2015.
- [27] Mastro L. L., Conover M.R., Frey S. N.: Deer-vehicle collision prevention techniques. *Human-Wildlife Interactions*. 75, 2008. <https://digitalcommons.unl.edu/hwi/75>
- [28] Nowak S., Mysłajek R.W.: Propozycja metodyki podstawowego monitoringu użytkowania przejść dla zwierząt przez ssaki naziemne. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, 21 (59), 14-23, 2019.
- [29] Phokharatkul P., Liswadiratanakul D.: Using the vibration sensors to detect elephants, *Kasem Bundit Engineering Journal*, 8, 260-270, 2018. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/view/120317>
- [30] Przepusty dla zwierząt przy liniach kolejowych. Ciekawostki. Za: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. <https://inzynierbudownictwa.pl/przepusty-dla-zwierzat-przy-liniach-kolejowych-ciekawostki> (dostęp 13.04.2021)
- [31] Putman R.J., Langbein J., Staines B.W.: Deer and Road Traffic Accidents: A Review of Mitigation Measures: Costs and Cost-Effectiveness, Report for the Deer Commission for Scotland, Contract RP23A, UK, 2004.
- [32] Roy M., Sukumar R.: Railways and Wildlife: A Case Study of Train-Elephant Collisions in Northern West Bengal, India. In: Borda-de-Água L., Barrientos R., Beja P., Pereira H. (eds) *Railway Ecology*. Springer, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_10)
- [33] Sahlsten J., Bunnefeld N., Månsson J., Ericsson G., Bergström R., Dettki H.: Can supplementary feeding be used to redistribute moose *Alces alces*?, *Wildlife Biology*, 16(1), 85-92, 2010. <https://doi.org/10.2981/08-085>
- [34] Santos S.M., Carvalho F., Mira A.: Current Knowledge on Wildlife Mortality in Railways. In: Borda-de-Água L., Barrientos R., Beja P., Pereira H. (eds) *Railway Ecology*. Springer, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_2)
- [35] Sarma U. K., Easa P. S., Menon V.: *Deadly lines: A scientific approach to understanding and mitigating elephant mortality due to train hits in Assam*. Occasional Report no. 24, New Delhi: Wildlife Trust of India, 2006.
- [36] Seiler A., Olsson M.: Wildlife Deterrent Methods for Railways—An Experimental Study. In: Borda-de-Água L., Barrientos R., Beja P., Pereira H. (eds) *Railway Ecology*. Springer, 2017. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57496-7_17)
- [37] Shimura M., Ushioji T., Ikehata M.: Development of an acoustic deterrent to prevent deer-train collisions. *Quart. Report RTRI* 59, 207-211, 2018. [https://doi.org/10.2219/rtriqr.59.3\\_207](https://doi.org/10.2219/rtriqr.59.3_207)
- [38] Singh A. K., Kumar A., Mookerjee A., Menon V.: Jumbo express: A scientific approach to understanding and mitigating elephant mortality due to train accidents in Rajaji National Park. Occasional Report no. 3, New Delhi: Wildlife Trust of India, 2001.
- [39] St. Clair C.C., Backs J., Friesen A., Gangadharan A., Gilhooly P., Murray M., Pollock S.: Animal learning may contribute to both problems and solutions for wildlife-train collisions. *Phil. Trans. R. Soc. B* 374: 20180050, 2019. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2018.0050>
- [40] Stolarski M., Żyłkowska J.: Wypadki z udziałem zwierząt w transporcie kolejowym, *Transport i Komunikacja*, 3, 26-28, 2014.
- [41] Stolarski M., Żyłkowska J.: Aktywne metody ochrony zwierząt na liniach kolejowych, *Technika Transportu Szynowego* 5-6, 2008.
- [42] Stolarski M., Żyłkowska J.: Ochrona zwierząt jako istotny element procesu inwestycyjnego podczas budowy i modernizacji linii kolejowych. *Problemy Kolejnictwa*, 153, 2011.
- [43] Stolarski M., Pielech M.: Metody powiązania urządzeń sterowania ruchem kolejowym z systemem ochrony zwierząt UOZ-1. *Logistyka*, 3, 2012. *bwmeta1.BPGA-0001-0041*

- [44] Stolarski M.: Urządzenia do odstraszenia zwierząt UOZ-1 dla linii kolejowych o dużych prędkościach ruchu pociągu. In: Jackowiak B. (eds) *Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą*, 181-187, 2007. *bwmeta1.BGPK-2072-7786*
- [45] Visintin C., Golding N., van der Ree R., McCarthy M. A.: *Managing the timing and speed of vehicles reduces wildlife-transport collision risk. Transportation research part D: Transport and Environment*, 59, 86-95, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.003>
- [46] *Wildlife-Vehicle Collision Reduction Study: Report to Congress*, 2018. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08034/08034> (dostęp 13.04.2021)
- [47] Wojtynek L., Kulińska E., Budzik R., Kulińska A.: *Wypadki z udziałem zwierząt w transporcie drogowym i kolejowym w Polsce. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18 (6), 1460-1463, 2017.
- [48] Wood J., O'Connell-Rodwell C., Klempere, S.: *Using Seismic Sensors to Detect Elephants and Other Large Mammals: A Potential Census Technique. Journal of Applied Ecology*, 42(3), 587-594, 2005. <http://www.jstor.org/stable/3505991>
- [49] Żyłkowska J.: *Ochrona fauny w korytarzach transportowych, metody alternatywne wobec przejść dla zwierząt. Logistyka*, 3, 2012. *bwmeta1.BUS8-0024-0033*
- [50] Żyłkowska J. Stolarski M.: *Problematyka kolizji dzikich zwierząt z pociągami w aspekcie psychologii zwierząt oraz bezpieczeństwa ruchu pociągów. Logistyka*, 3, 2011. *bwmeta1.BPL1-0007-0038*