



Alicja Barbara Sołowczuk
**Zrównoważone
projektowanie
przejść
przyjaznych
zwierzętom**

ZACHODNIOPOMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE

ALICJA BARBARA SOŁOWCZUK

**ZRÓWNOWAŻONE PROJEKTOWANIE GÓRNYCH
PRZEJŚĆ PRZYJAZNYCH ZWIERZĘTOM**

Szczecin 2019

Recenzenci
LESZEK RAFALSKI
TOMASZ HESSE
ADAM WYSOKOWSKI

Zdjęcia na pierwszej stronie okładki
PRZEMYSŁAW GARDAS (Polska, ekrany siatkowe na drodze ekspresowej S3)
PIOTR POPIELIK (Polska, przejście górne Popowo)
ALICJA SOŁOWCZUK (Niemcy, przejście górne Barnekow)
Zdjęcie na czwartej stronie okładki
PROVINCIE NOORD-HOLLAND (Holandia, przejście górne Zwalunwenberg)

Opracowanie redakcyjne
ALICJA BERNER

WYDANO ZA ZGODĄ
REKTORA ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIwersYTETU TECHNOLOGICZNEGO W SZCZECINIE

ISBN 978-83-7663-280-3

Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
al. Piastów 48, 70-311 Szczecin, tel. 91 449-47-60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl
Druk PPH Zapol, Sobczyk Sp.j., al. Piastów 42, 71-062 Szczecin

Spis treści

Od Autora	5
Wprowadzenie	7
1. Fragmentacja krajobrazu i kompensacje przyrodnicze	11
1.1. Fragmentacja krajobrazu i sposoby jego defragmentacji	11
1.2. Korytarze i szlaki migracyjne uzasadniające budowę przejść dla zwierząt	18
1.3. Klasyfikacja górnych przejść dla zwierząt zaproponowana przez ekologów, biologów i leśników	21
2. Analiza czynników ekologicznych podczas projektowania przejść górnych	23
2.1. Wprowadzenie	23
2.2. Sposoby kompensacji przyrodniczych	23
2.3. Dwuetapowa analiza doboru lokalizacji przejścia dla zwierząt	29
2.4. Analiza gęstości i rozmieszczenia przejść w przeciętych siedliskach	33
2.5. Przegląd podstawowych wytycznych dotyczących szczegółowej lokalizacji przejść dla zwierząt	41
2.6. Podstawowe czynniki ekologiczne doboru parametrów przejść dla zwierząt	45
3. Analiza czynników budowlanych branych pod uwagę podczas projektowania przejść górnych	59
3.1. Wprowadzenie	59
3.2. Czynniki ekonomiczne brane pod uwagę podczas doboru konstrukcji	59
3.3. Podstawowe czynniki budowlane przejść górnych	64
3.4. Kształt przejścia górnego w planie	72
3.5. Analiza powierzchni stref buforowych	79
3.6. Przegląd zaleceń projektowych i stromości najść na istniejących przejściach górnych	88
3.7. Przegląd rozwiązań doświadczalnych i różnorodnych rodzajów ekranów stosowanych na górnych przejściach dla zwierząt	90
3.8. Nowa generacja przejść górnych	103
4. Zrównoważone zagospodarowanie terenu przejścia przyjaznego zwierzętom	111
4.1. Przegląd podstawowych wytycznych dotyczących zagospodarowania przejścia górnego	111
4.2. Zalecane metody zagospodarowania strefy najścia i skarp wokół przyczółków w celu uzyskania jednolitej struktury z siedliskiem	113
4.3. Lokalizacja drogi na powierzchni przejścia zespolonego	124
4.4. Zagospodarowanie strefy migracji na przejściu górnym	131
4.5. Estetyka przejść górnych	149
4.6. System odwodnienia na przejściach górnych	151
5. Dobór roślinności w zależności od głównych gatunków zwierząt korzystających z przejścia górnego ...	163
5.1. Ogólne zasady kształtowania zieleni w rejonie przejść górnych	163
5.2. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie sarny i daniele	178
5.3. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie jelenie	178
5.4. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie łosie	179
5.5. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie dziki	180
5.6. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie żubry	180
5.7. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie niedźwiedzie	180
5.8. Zestawienie zalecanych nasadzeń na górnych przejściach dla zwierząt	181
6. Wpływ sposobu zagospodarowania przejść dla zwierząt na poziom hałasu drogowego	183
6.1. Wprowadzenie	183
6.2. Założenia badawcze pomiarów poziomu hałasu	186
6.3. Interpretacja wykresów dotyczących poziomu hałasu drogowego	188

6.4. Prawdopodobne determinanty rozkładu hałasu drogowego na przejściu górnym	191
6.5. Wpływ wałów ziemnych uformowanych na dojściu do przejścia na poziom hałasu	193
6.6. Wpływ ekranów betonowych i wałów ziemnych z różnymi nasadzeniami na poziom hałasu na powierzchni przejścia zespolonego	196
6.7. Wpływ ekranów drewnianych z loggią nad pasem dzielącym na poziom hałasu w strefie przejścia	200
6.8. Wpływ rodzaju ekranu na poziom hałasu na przejściu habitatowym	207
6.9. Wpływ czynników ogólnych na klimat akustyczny w otoczeniu planowanego przejścia górnego	213
6.9.1. Wprowadzenie	213
6.9.2. Wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania otoczenia na klimat akustyczny wokół drogi usytuowanej na poziomie otaczającego terenu	214
6.9.3. Wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania otoczenia na klimat akustyczny wokół drogi usytuowanej w wykopie	216
6.9.4. Wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania otoczenia na klimat akustyczny wokół drogi usytuowanej w wykopie i na wybudowanym obiekcie z ekranami	218
6.9.5. Podsumowanie i zalecane do zastosowania elementy zagospodarowania terenu w strefie najścia i dojścia	221
6.10. Wpływ różnego rodzaju zagospodarowania powierzchni przejścia górnego na klimat akustyczny	222
6.11. Podsumowanie i zalecane do zastosowania elementy zagospodarowania terenu w strefie najścia i migracji na górnych przejściach dla zwierząt	228
Podsumowanie	229
Bibliografia	231
Wykaz źródeł ilustracji	245
Summary	247
Zusammenfassung	249

Od Autora

Przekazywana Czytelnikom niniejsza monografia powstała na podstawie badań prowadzonych na przejściach habitatowych wybudowanych w kraju i za granicą. Przedstawiono w niej problemy zrównoważonego projektowania przejść, na podstawie analizy zasad projektowych zawartych w wytycznych, raportach i ekspertyzach opracowanych w wielu krajach Europy Zachodniej, Ameryki i w Australii, ilustrując je wieloma zdjęciami satelitarnym, mając na względzie przejrzyste przedstawienie możliwości zagospodarowania przejść habitatowych z maksymalnym zachowaniem ciągłości środowiska naturalnego przeciętego drogami.

W monografii zawarto wiele opracowań graficznych, fotografii innych autorów lub własnych zdjęć satelitarnych z programu Google Earth oraz zdjęć z programu Street View w celu jak najbardziej zrozumiałej ilustracji omawianego zagadnienia. Dzięki uprzejmości biur architektonicznych Janet Rosenberg & Studio Inc. Landscape Architecture and Urban Design oraz ZJA Zwarts & Jansma Architects, głównych finalistów konkursu architektonicznego International Wildlife Crossing Structure, było także możliwe zaprezentowanie najnowszych tendencji urbanistycznych i konstrukcyjnych – zarówno w odniesieniu do projektowanych obiektów, jak i sposobów zagospodarowywania przestrzeni migracji, zapewniających lepszą funkcjonalność przejść habitatowych. Monografię wzbogaciła również grafikami na tematy ekologiczne amerykańska graficzka Patricia Johanson.

Autorka dziękuje współpracownikom Radosławowi Maronowi i Sebastianowi Kryszakowi za pomoc w wykonaniu pomiarów poziomu hałasu na przejściach dla zwierząt oraz Dominikowi Kacprzakowi za pomoc przy wykonywaniu map klimatu akustycznego na wybranych kilkunastu obiektach.

Przekazując Czytelnikom niniejszą monografię, zawierającą kompendium wiedzy z zakresu zrównoważonego projektowania górnych przejść przyjaznych zwierzętom dziko żyjącym wraz z zagospodarowaniem ich otoczenia, mam głęboką nadzieję, że spełni ona Ich oczekiwania i uzupełni dotychczasową wiedzę.

Wszystkim osobom, które sprzyjały powstaniu niniejszej monografii, chciałabym złożyć najserdeczniejsze podziękowania, szczególnie Autorom (właścicielom praw autorskich) ilustracji i opracowań graficznych (w kolejności alfabetycznej): Michałowi Domagale, Johanowi Fehrmannowi, Przemysławowi Gardasowi, Marcelowi Huijserowi, Patricii Johanson, Nico Jonkerowi, Mattiasowi Olsonowi, Radosławowi Madejowi, Radosławowi Maronowi, Piotrowi Pacelikowi, Janet Rosenberg, Mariuszowi Schabowi, Andreasowi Seilerowi i Indze-Maj Eriksson, Raymondowi Tilmansowi, a także instytucjom (w kolejności alfabetycznej): APRR/Alain Joveniaux-EPA, Directie Beheer & Uitvoering Provincie Noord-Holland, Fira Landscape Limited, Provincie Noord-Holland, State of The Netherlands Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat Verbinden & Ontsnippen, Washington State Department of Transportation WSDOT, Werkversie-De Vormgeving van Faunapassages – DEEL III, Zwarts & Jansma Architects ZJA, które udostępniły ilustracje i zezwoliły na wykorzystanie ich w niniejszej monografii.

Serdeczne podziękowania autorka kieruje na ręce twórców programu Google Earth i operatorów Street View za opracowanie programu wykorzystującego zdjęcia satelitarne, bez których w niniejszej monografii nie byłoby możliwe opisanie wielu zrealizowanych obiektów i przeanalizowanie zmian ich zagospodarowania w czasie. Autorka dziękuje również za opracowanie korzystnych dla autorów publikacji warunków korzystania ze zdjęć satelitarnych z Google Earth i możliwość wzbogacenia treści monografii dostępną dokumentacją fotograficzną zawartą w programie i wykonaną na przestrzeni wielu lat, co pozwoliło przeprowadzić wiele analiz związanych ze zmianami zagospodarowania otoczenia mostów zielonych i krajobrazowych. Umożliwienie Czytelnikom obejrzenia wielu szczegółów konstrukcyjnych i otoczenia mostów zawartych na zdjęciach Street View znacznie ułatwia analizy konstrukcji mostów, systemu odwodnienia, a także umożliwia wykonanie analizy zagospodarowania stref naprowadzająco-osłonowych na poszczególne obiekty.

Dziękuję serdecznie również Agacie Misztal za okazaną pomoc przy pozyskiwaniu zgody od wielu podmiotów na publikację Ich ilustracji zamieszczonych w niniejszej monografii, a także Dominikowi Kacprzakowi za okazaną pomoc w przygotowaniu ilustracji graficznych oraz za cenne uwagi w trakcie przygotowania poszczególnych rozdziałów. Szczególnie serdecznie dziękuję mojemu synowi Pawłowi Sołowczukowi za wszelkie inspiracje i pomoc informatyczną, która przyczyniła się do sprawniejszego opracowania niniejszej monografii.

prof. nadzw. dr hab. inż. Alicja Barbara Sołowczuk

Szczecin, czerwiec 2018 r.

“An animal's world is vision, sound, touch, smell. It's not about language. You have to get into the sensory world in order to understand them.”

„Świat zwierząt tworzy wizja, dźwięk, dotyk, zapach. To nie jest język. Żeby go zrozumieć, trzeba dostać się do ich świata sensorycznego.”

Temple Grandin, Colorado State University [23]

Wprowadzenie

Potrzeba coraz szybszego, wygodniejszego i bezpieczniejszego przemieszczania się ludzi i przewożenia towarów prowadzi do rozbudowy sieci dróg szybkiego ruchu. Na całym świecie powstają nowe autostrady, drogi szybkiego ruchu i szybkobieżne linie kolejowe. Dzielią one naturalne siedliska przyrodnicze w sposób trwały na coraz mniejsze wyizolowane obszary, ograniczając zwierzętom dziko żyjącym możliwości przemieszczania się i stają się dla nich samoistną barierą nie do przebycia.

W tych pofragmentowanych obszarach często znajdują się siedliska okolicznej zwierzyny, a użytki zielone są miejscem gniazdowania ptaków związanych z danym typem siedliska. Duże gatunki zwierząt, np. sarny, jelenie i dziki, podejmują w ciągu roku sezonowe wędrówki związane przede wszystkim ze zdobywaniem pokarmu i okresem rozrodczym. W trakcie trwania sezonowych wędrówek, jak również w trakcie okresu polowań na te zwierzęta, przemieszczają się one na znaczne odległości wynoszące nierzadko nawet kilkanaście lub kilkadziesiąt kilometrów. Z reguły na obszarze budowanej drogi o długości kilkuset kilometrów może bytować do kilku tysięcy zwierząt łownych. Dla tej właśnie zwierzyny dziko żyjącej droga może stanowić barierę ekologiczną i oddziaływać barierowo na ich bytowanie, prowadząc do fragmentacji siedlisk.

Problemy zmniejszającej się liczby dzikich zwierząt w krajach zachodnich dostrzegli w latach 70. ub.w. badacze związani z ochroną środowiska, a genetycy zaczęli prowadzić szczegółowe badania nad poszczególnymi gatunkami zwierząt, wiążąc w konsekwencji problem zmniejszającej się liczby dzikich zwierząt z fragmentacją krajobrazu [42, 46]. Analizując rozbudowaną sieć dróg i linii kolejowych oraz pofragmentowane siedliska, zaproponowali oni kompensacje przyrodnicze, głównie związane z budową przejść dla zwierząt [28, 42, 47]. Pierwsze przejścia habitatowe wybudowano w latach 70. i 80. ub.w. [28]. Były one wąskie i słabo dostosowane do potrzebnych warunków migracji zwierząt. W rezultacie przeprowadzonych w latach 90. badań funkcjonalności wybudowanych obiektów sformułowano pierwsze zasady projektowania przejść habitatowych, zaczęto dostrzegać problemy koniecznego dostosowania przejść do danych gatunków zwierząt oraz wykazano braki implementacji obiektów z otaczającym krajobrazem [28]. W konsekwencji prowadzonych badań wprowadzono podziały obiektów na mosty zielone i krajobrazowe oraz na przejścia dolne (czyli estakady, wiadukty i przepusty). Pod koniec XX w. i na początku XXI w. w krajach zachodnich zaczęto podchodzić do problemów ochrony środowiska i kompensacji przyrodniczych bardziej kompleksowo [16, 17, 19, 22, 36, 37, 38, 40, 41, 42]. Również w Polsce w tym czasie opracowano pierwsze wytyczne budowy przejść dla zwierząt [103, 105, 111]. Największy rozwój nauki dotyczącej zrównoważonego sposobu integracji środowiska i sieci dróg nastąpił w ostatnich 20 latach, zgodnie z rekomendacjami Rady Europejskiej i konkluzjami Rady Ministrów Środowiska [127] sformułowanymi w latach 2010 i 2011, w których opracowano dwie strategie:

- cel na 2020 rok – powstrzymanie degradacji środowiska na tyle, na ile to możliwe, z jednoczesnym zwiększeniem działań zapobiegających utracie różnych gatunków zwierząt;
- wizja na rok 2050 – ochrona środowiska i jego odbudowa ze względu na istotną wartość, a także w celu uniknięcia katastrofalnych zmian spowodowanych utratą cennych wartości biologicznych.

Biorąc powyższe pod uwagę, podczas obrad Conference of European Directors of Roads CEDR w Kopenhadze w 2011 r. ustanowiono [127], że publikacja COST 341 [42] jest europejskim podstawowym podręcznikiem służącym do identyfikacji konfliktów i opracowania rozwiązań proekologicznych dotyczących

szeroko pojętej zrównoważonej integracji sieci drogowej i środowiska. A wiedzę w nim zawartą należy regularnie aktualizować, uzupełniać i rozszerzać o nowe tematy ekologiczne.

Obecnie wiedza o oddziaływaniu dróg na środowisko przyrodnicze jest znacznie większa niż kilkanaście lat temu. Ale jest ona rozproszona w znacznej części publikacji i rozmaitych wytycznych. Krajowi projektanci-planiści mają duże utrudnienia w dotarciu do wielu publikacji w celu znalezienia praktycznej wiedzy umożliwiającej w sposób możliwie mało szkodliwy dla środowiska **zrównoważone projektowanie górnych przejść dla zwierząt**. W Polsce jesteśmy dopiero na początku budowania autostrad i dróg ekspresowych, więc dodatkowo dochodzą jeszcze problemy planistyczne. Przy trasowaniu nowych ciągów komunikacyjnych problemy związane z ochroną środowiska mogą ponadto dotyczyć omijania siedlisk lub ich przenoszenia. Z analizy zagranicznej i krajowej literatury przedmiotu i wniosków płynących z ww. konferencji CEDR wynika [127], że w planowaniu sieci drogowej administracja drogowa powinna wspólnie angażować **planistów, drogowców, mostowców, ekologów, architektów krajobrazu i ekonomistów**.

Na krajowym rynku jednak brakuje opracowań, które wskazywałyby planistom, drogowcom i mostowcom zrównoważone aspekty nie tylko projektowania pojedynczych obiektów, ale także zagospodarowywania planowanych przejść ekologicznych bardziej przyjaznych zwierzętom, z uwzględnieniem zagadnień klimatu akustycznego, zachowania ciągłości krajobrazu i siedlisk przyrodniczych. Liczba publikacji naukowych i podręczników w Polsce z zakresu projektowania zagospodarowania obiektów habitatowych nie jest duża. A dostępne książki i opracowania ograniczają się jedynie do tematyki ekologicznej, pomijając wiele aspektów budowlanych, konstrukcyjnych, ekonomicznych i klimatu akustycznego.

Niniejsza monografia powstała na podstawie analizy publikacji naukowych i rezultatów badań prowadzonych przez wielu naukowców na istniejących przejściach górnych w kraju i za granicą, a także na podstawie własnych analiz autorki dotyczących zastosowanego zagospodarowania kilkudziesięciu przejść górnych wybudowanych w kraju i za granicą. W monografii w rozdz. 2, 3 i 4 przedstawiono poszczególne aspekty zrównoważonego projektowania górnych przejść, wynikające z analizy zasad projektowych zawartych w naukowych publikacjach, opracowaniach, raportach, ekspertyzach i wytycznych, opracowanych w wielu krajach Europy Zachodniej, Ameryki i w Australii. Na podstawie rezultatów kilkuletnich obserwacji stanu nasadzeń na istniejących przejściach dla zwierząt i przeglądu najnowszych publikacji naukowych w rozdz. 5 autorka zawarła zalecenia dotyczące nasadzeń w otoczeniu i na terenie przejścia, z uwzględnieniem gatunków roślin typowych w naszym klimacie, o potwierdzonej ich wieloletniej żywotności (tj. odporności na zanieczyszczenia drogowe, mróz i suszę w trudnych warunkach, jakimi są warunki glebowe typowe na przejściach górnych). Zalecane gatunki nasadzeń autorka zweryfikowała w badaniach własnych dotyczących klimatu akustycznego. W rozdziale 6 przedstawiono unikatowe autorskie wyniki badań klimatu akustycznego, wykonanych na różnie zagospodarowanych przejściach górnych. Badania rozkładu hałasu były przez autorkę prowadzone na obiektach ekologicznych o ich różnej funkcjonalności. Wyniki badań naukowych potwierdzają potrzebę zrównoważonego projektowania tych obiektów, z uwzględnieniem klimatu akustycznego, który przede wszystkim może zdecydować o funkcjonalności przejścia górnego j jego akceptacji bądź odrzuceniu przez zwierzęta.

Przejścia habitatowe służą przede wszystkim poprawieniu przeciętego drogą środowiska i jako takie powinny podlegać zasadom zrównoważonego projektowania. Tytułowe **zrównoważone projektowanie górnych przejść przyjaznych zwierzętom** uwzględnia czynniki ekologiczne, budowlane, krajobrazowe i klimat akustyczny. Zgodnie z założeniem „zrównoważonego projektowania”, tj. systemu, który czasami przybiera bardziej komunikatywną i atrakcyjną nazwę „Green Architecture”, w procesie projektowym uwzględnia się kilka zasad [229, 240]: energooszczędność, wykorzystanie alternatywnych źródeł energii, kanon 3r, szacunek dla użytkownika i szacunek do terenu. Analiza publikacji naukowych zagranicznych wskazuje, że coraz częściej przy omawianiu zagadnień projektowania przejść habitatowych wspomina się o zrównoważonej konieczności ich projektowania. Autorka w niniejszej monografii odniosła ww. zasady zrównoważonego projektowania po raz pierwszy do przejść habitatowych. Z ich definicji, podanej w publikacjach [229, 240], wynika, że powinno się projektować obiekty ekologiczne, uwzględniając zasady **efektywnej izolacji**, czyli wyjątkowo uważnie i właściwie dobierać lokalizację przejść na rzeczywistych trasach migracyjnych zwierząt dziko żyjących i dbać o izolację ich przestrzeni od siedzib ludzkich. W zwią-

ku z tym w publikacjach holenderskich wprowadzono pojęcie stref buforowych opisanych w rozdz. 3.5. Zasada zrównoważonego projektowania, odnosząca się do wykorzystania alternatywnych źródeł energii, wykorzystywana jest głównie w architekturze i budownictwie ogólnym. W przypadku przejść habitatowych chodzi przede wszystkim o zasady **dbałości o środowisko**, czyli o sposób zagospodarowania, stosowania rodzimej zieleni rosnącej w otoczeniu przejścia i naturalnych elementów zagospodarowania, tj. drewnianych osłon, głązów, karpin¹. Szczególne zalecenia w zrównoważonym projektowaniu przejścia dotyczą istniejących w pobliżu oczek wodnych stanowiących dla zwierząt naturalne miejsce wodopoju. Podobne zalecenia zrównoważonego projektowania mogą odnosić się do **kanonu 3r**, czyli połączenia angielskich słów: *reduce, reuse, recycle*. Zasada ta obejmuje dużą grupę zalecanych działań, których efektem powinna być oszczędność terenu, kubatury obiektu i materiałów, a także stosowanie zunifikowanych systemów konstrukcyjnych uwzględniających krótszy czas zamknięcia istniejących szlaków migracyjnych podczas budowy przejścia. Ostatnia zasada zrównoważonego projektowania odnosi się do **szacunku wobec użytkownika i terenu**, tj. do oszczędnego wykorzystania terenu i maksymalnej integracji przejścia z krajobrazem. W zagranicznych publikacjach wiele uwagi poświęca się również zrównoważonemu projektowaniu zagospodarowania przejścia z myślą o zwierzętach, podkreślając, że budowla ma integrować przeciętą drogą siedliska i że nie może być „sztucznym” łącznikiem zniechęcającym zwierzęta do przejścia. Wyżej wymienione zasady omówiono bardziej szczegółowo w rozdz. 2, 3 i 4 niniejszej monografii, a w rozdz. 6 przedstawiono zrównoważone projektowanie zagospodarowania terenu przejść, z uwzględnieniem klimatu akustycznego, co stanowi element nowości naukowej.

Biorąc pod uwagę zasadnicze różnice w podawanych szerokościach przejścia górnego w opracowaniach krajowych [103, 111, 121] i zagranicznych [42, 52, 243], w niniejszej monografii przytoczono w tab. 2.1 tylko ich wartości minimalne i zalecane – w celu zobrazowania skomplikowanego podejścia do tego problemu. W niniejszej monografii, uwzględniając podstawowe ekologiczne pojęcia opisane w literaturze przedmiotu [28, 29, 42, 52, 77, 103, 121, 142, 193, 234, 239], przyjęto dwa charakterystyczne terminy szerokości:

- **szerokość obiektu**, mierzona w największym miejscu nad przekraczaną drogą;
- **faktyczną szerokość przejścia**, oznaczającą najmniejszą przestrzeń pomiędzy ekranami, nasadzeniami lub wałami, jaką widzą zwierzęta migrujące na danym przejściu.

Podobnie, na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury dotyczącej przejść górnych, w niniejszej monografii w rozdz. 1.3 przyjęto dwa typy obiektów – **mosty krajobrazowe** (*landscape bridge*) i **mosty zielone** (*wildlife overcrossings*), powszechnie wymieniane w większości publikacji naukowych [28, 29, 42, 52, 77, 103, 142, 187, 193, 222, 223, 234, 239]. Nie zastosowano natomiast nazewnictwa, zaproponowanego w 2002 r. tylko w jednej pozycji krajowej [111], dzielącego przejścia górne na duże i średnie dla dużych i średnich zwierząt.

W niniejszej monografii, wzorem nazewnictwa stosowanego w zagranicznych publikacjach naukowych, przyjęto podział powierzchni przejścia na trzy strefy: **dojścia, najścia i migracji**. Strefę dojścia w niektórych pozycjach zagranicznych nazywa się otoczeniem przejścia, a Edgar A. van der Grift [81] wprowadził dodatkowo nazwę **strefy buforowej**, którą szczegółowo opisano w rozdz. 3.5. Natomiast w polskich wytycznych [244], dotyczących zakładania i utrzymywania zieleni przydrożnej, zastosowano w odniesieniu do strefy dojścia i strefy najścia jeden termin: **strefa przywabiania** i dodatkowo wprowadzono strefę **naprowadzająco-osłonową**. W niniejszej monografii w rozdz. 5 (dotyczącym zagospodarowania terenu zielenią i doboru gatunku roślinności) zastosowano wszystkie ww. terminy, natomiast w pozostałych rozdziałach – nazwy stref dojścia, najścia i migracji używane w zagranicznej i krajowej literaturze [28, 29, 42, 52, 77, 103, 121, 142, 187, 207, 222, 223, 234, 239].

Obecnie w Polsce buduje się wiele przejść dla zwierząt nad autostradami i drogami ekspresowymi, ważna jest więc też analiza ich kosztów budowy, celowości, rozmiarów i lokalizacji. Wszystkie te czynniki omówiono w rozdz. 2, 3 i 4, dotyczących zagadnienia zrównoważonego projektowania. Zagadnienia budowy przejść dla zwierząt dziko żyjących są przez ekologów opisywane od końca ubiegłego wieku, przy czym ich podstawy przedstawiono w pozycji [42]. Analiza różnych typów konstrukcji obiektu wskazuje, że „[...] jej wybór zależy

¹ Karpina – drewno części podziemnej drzewa wraz z pniakiem pozostałym po ścięciu.

głównie od topografii, stabilności podłoża, kosztów, estetyki i lokalnych tradycji projektowania [...]” [42, s. 17]. Przykłady obiektów przedstawione w niniejszej monografii wskazują, że nie ma jednej zalecanej konstrukcji, a prezentowane przykłady zostały wybrane w celu dostarczenia pomysłów do rozwiązania problemów inżynierii ekologicznej. Niniejsza monografia nie ma na celu podania wszystkich szczegółów technicznych projektowanych konstrukcji, lecz skupia się głównie na cechach, które są ważne dla zapewnienia funkcjonalności przejść dla dzikich zwierząt.

Ponieważ przejścia są budowane dla zwierząt, bardzo ważne są problemy środowiskowe mające zapewnić „ciągłości ekologiczne” [155, s. 6], co podkreśla się w pozycji [155] i co szczegółowo opisano w rozdz. 2. W budowanych w ostatnim czasie w kraju przejściach habitatowych przy doborze typu konstrukcji jednak powinny być brane pod uwagę również czynniki budowlane. Te zagadnienia opisano w rozdz. 3 niniejszej monografii. Również do tych zagadnień odniesiono się w projekcie nowych wytycznych [182] i w komentarzach do nich [155]. Zdaniem autorki preferowanie w projekcie wytycznych [182] najtańszych rozwiązań inżynierii ekologicznej, związanych z największymi „[...] górnymi przejściami dla zwierząt średnich i dużych [...]” [182; slajd 4], oraz proponowanie ich „[...] minimalnej szerokości nie mniejszej niż 10 m [...]” [182, slajd 34], na podstawie obowiązującego rozporządzenia z 2000 r. [179], słusznie zostało skrytykowane przez ekologów [155]. Czynniki techniczne i ekonomiczne nie powinny decydować o lokalizacji i formie przejścia habitatowego, gdyż może to mieć związek z pogorszeniem jego efektywności. Czynniki te należy traktować raczej pomocniczo, „[...] rozstrzygając, jak najprościej i najtaniej zbudować efektywne przejście tam, gdzie jest potrzebne z powodów środowiskowych [...]” [155, s. 6–7], przy czym priorytetem powinny być czynniki środowiskowe. Ponieważ zagadnieniem efektywności ekonomicznej zajmują się obecnie na szeroką skalę badacze z innych krajów [143], w niniejszej monografii go nie uwzględniono. Z powodu nielicznych polskich pozycji literaturowych i śladowej w nich liczby dobrych przykładów zagospodarowania terenu przejść dla zwierząt **głównym celem niniejszej monografii jest przedstawienie zagadnień inżynierii ekologicznej i zrównoważonego projektowania górnych przejść bardziej przyjaznych zwierzętom w celu praktycznego ich wykorzystania w planowanych realizacjach, w przeciwieństwie do czasami prezentowanej w różnych opracowaniach wizji poszukiwania jak najtańszych rozwiązań.** Takie podejście do wymiany wiedzy praktycznej i doświadczenia, zdobytego podczas różnych działań mających na celu zmniejszenie wpływu infrastruktury na środowisko, zalecane jest zarówno w pozycji [42], jak i w materiałach konferencyjnych CEDR [127].

Zdaniem autorki szczególnie cenne pod względem efektywności ekonomicznej mogą okazać się rezultaty wieloletnich badań zawarte w pozycji [143], które wg Johna Bissonette’a i Patricii Cramer wskazują, że przepuszczalność krajobrazu (tzn. zdolność gatunków do swobodnego przemieszczania się) jest wiodącą zasadą i podstawą skutecznego łagodzenia fragmentacji siedlisk. W konkluzji przeprowadzonych badań stwierdzają oni, że „[...] dostarczanie wskazówek na temat wykorzystania i funkcjonalności przejść dla zwierząt w celu złagodzenia fragmentacji siedlisk i zmniejszenia liczby kolizji między zwierzęciem i pojazdem wymaga myślenia w zakrojonej na szeroką skalę, wielokryterialnej strukturze opartej na zdrowych zasadach ekologicznych [...]” [143, s. 1]. Poszukiwanie więc *aurea mediocritas* nie polega na znalezieniu jednej zalecanej w wytycznych konstrukcji, lecz składa się głównie z etapowania decyzji: najpierw lokalizacyjnych, następnie dotyczących typu przejścia i rodzaju konstrukcji, a na końcu dotyczących ich zagospodarowania. Jest to kompromis względów środowiskowych, budowlanych i ekonomicznych. Etapowe podejście do projektowania przejść górnych, łączące ww. czynniki, może zagwarantować dobrą ich skuteczność.

Monografia adresowana jest do projektantów i urbanistów oraz architektów krajobrazu, zajmujących się opracowaniami i analizami środowiskowymi, a także do konstruktorów, wykonawców, administracji drogowej, ekologów, również do studentów ze specjalności drogowej, mostowej i architektury krajobrazu oraz słuchaczy studiów podyplomowych związanych z drogownictwem.

1. Fragmentacja krajobrazu i kompensacje przyrodnicze

1.1. Fragmentacja krajobrazu i sposoby jego defragmentacji

Potrzeba coraz szybszego, wygodniejszego i bezpieczniejszego przemieszczania się ludzi i przewożenia towarów prowadzi do rozbudowy sieci dróg szybkiego ruchu (dsr). Na całym świecie powstają nowe autostrady, magistrale, drogi ekspresowe i szybkobieżne linie kolejowe. Dzielą one w sposób trwały naturalne układy przyrodnicze na wiele mniejszych wyizolowanych obszarów, stając się, niestety, barierą nie do przebycia dla zwierząt. Ten proces nazywa się fragmentacją krajobrazu.

Dzikię zwierzęta cyklicznie zmieniają miejsca swojego pobytu w poszukiwaniu nowych źerowisk i wodopojów, schronienia i terenów rozrodu. Tradycyjnie migrują pomiędzy obszarami pobytu letniego i zimowego. Sieć arterii komunikacyjnych przerywa naturalne ścieżki migracyjne, tworząc wyizolowane „sztuczne wyspy”, na których zwierzęta krzyżują się z blisko spokrewnionymi osobnikami. Brak możliwości wymiany genetycznej między lokalnymi populacjami w konsekwencji prowadzi do ich degeneracji, drastycznego spadku liczebności, a nawet stopniowego wymierania. Według teorii Józefa Curzydły, „[...] jeśli w danym obszarze przebywa do 500 osobników danego gatunku zwierząt, to nie zapewnia się im właściwego genetycznego rozwoju i to prowadzi do degeneracji genetycznej [...]” [14, s. 63].

W krajach europejskich po drugiej wojnie światowej wybudowano sieci autostrad i dróg ekspresowych, dzieląc niewielkie obszary krajobrazu na małe części. W krajach o mniejszej powierzchni dzięki m.in. rozwiniętej sieci drogowej nastąpił znaczny rozwój gospodarczy [13, 65, 128]. Ale już w latach 60. ub.w. zaczęto dostrzegać na tych obszarach problemy ekologiczne i drastyczne zmniejszenie się liczby dzikich zwierząt. Ekolodzy zaczęli domagać się przestrzegania zasad zrównoważonego rozwoju, a naukowcy zaczęli prowadzić intensywne badania dotyczące liczebności obserwowanych zjawisk w celu rozwiązania problemu i w miarę niezakłóconego funkcjonowania zwierząt w pociętym drogami środowisku. Drogi z dużym natężeniem ruchu stanowiły bowiem znaczne przeszkody dla zwierząt i odwrotnie: zwierzęta chcące się przemieścić przez wybudowane drogi do innych siedlisk i nowych miejsc żerowania stanowiły zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu (ryc. 1.1).

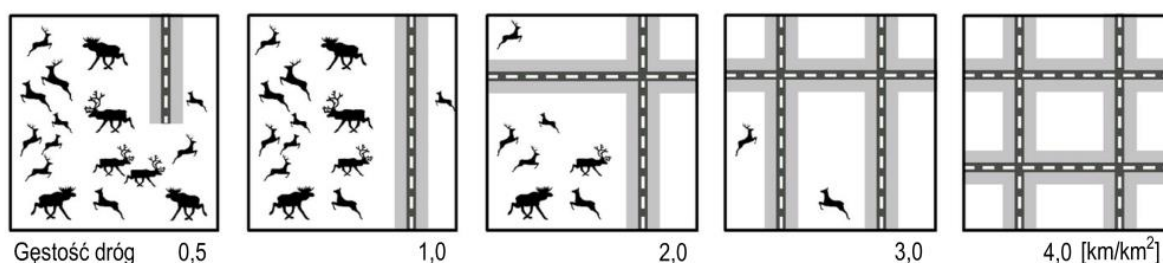


Ryc. 1.1. Przykład pokazujący, że zwierzęta mogą na nieogrodzonych drogach mniejszego znaczenia wbiec na jezdnię i stać się przyczyną zagrożenia w ruchu drogowym
Źródło: Michał Domagała [53].

Budowa tras komunikacyjnych oznacza również znaczną ingerencję w środowisko zwierząt, spowodowaną hałasem, wibracjami, światłem o dużym natężeniu, wzrokowym kontaktem z nieznanymi obiektami. Zdezorientowane i przerażone zwierzęta bardzo często giną w wypadkach drogowych. Aby temu przeciwdziałać, projektuje się w ramach kompensacji specjalne przejścia pozwalające im bezpiecznie przekraczać drogi o natężonym ruchu samochodowym.

Wraz z rozwojem sieci transportowych, szczególnie dróg, wzrasta ich wpływ na fragmentację środowiska i przede wszystkim siedlisk. Im mniejsza jest powierzchnia bytowania zwierząt, tym bardziej nasilają się negatywne zjawiska.

Infrastruktura drogowa powoduje degradację lub utratę siedliska spowodowaną efektem zaburzenia (zob. ryc. 1.2 – szare korytarze) oraz izolację poszczególnych osobników danego gatunku zwierząt. Wraz z rosnącą gęstością infrastruktury obszary nietkniętych siedlisk (zob. ryc. 1.2 – białe pola) kurczą się i stają się niedostępne dla większości zwierząt dziko żyjących. Pozostałości nadających się dla zwierząt siedlisk stają się ostatecznie zbyt małe i odizolowane, aby ochronić lokalne populacje przed wyginięciem. Krytyczny próg gęstości dróg jest właściwy dla danego gatunku zwierząt, ale zależy również od cech krajobrazowych i infrastrukturalnych.



Ryc. 1.2. Zmniejszenie liczby osobników w miarę zwiększania się gęstości dróg na powierzchni 100 ha
Źródło: opracowanie graficzne Andreas Seiler [40, rys. 3.12, s. 49, tł. A. Sołowczuk].

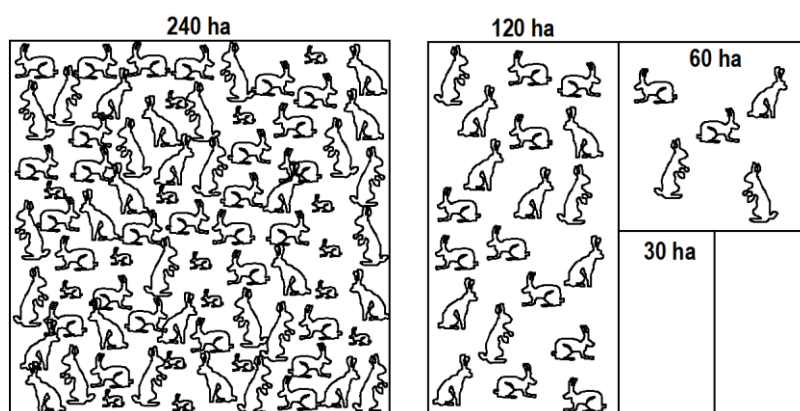
Rozpatrując problem fragmentacji krajobrazu, trzeba go analizować w szerszym kontekście, gdyż układy komunikacyjne są powiązane z infrastrukturą, która również powoduje straty i izolację siedlisk. Badania, dotyczące skumulowanych skutków fragmentacji spowodowanej infrastrukturą drogową, muszą dotyczyć większych obszarów i obejmować dłuższe okresy niż badania, które odnoszą się do głównych skutków pojedynczego połączenia drogowego lub kolejowego. Ocena stopnia rozdrobnienia krajobrazu z powodu infrastruktury nie jest prostym zadaniem. Zależy ona bowiem od analizowanych gatunków zwierząt, zakłóceń siedlisk i ich różnorodności na analizowanym obszarze. W COST 341 [42] zespół autorski zaproponował, a Richard T.T. Forman [75] zasugerował wykorzystanie gęstości infrastruktury jako prostego sposobu analizowania rozdrobnienia krajobrazu (ryc. 1.2). Cytowany sposób można dowolnie uzupełniać, dodając potrzebne informacje o analizowanych gatunkach zwierząt, gęstości dróg na danym obszarze, klasie drogi, prędkości, średnicy korony drzew itd.

Analiza danych przedstawionych na ryc. 1.2 wskazuje, że przy gęstości dróg wynoszącej ok. 0,5 km/km² siedliska zwierząt nie są zagrożone, a migracja do nowych źerowisk jest swobodna. Szare korytarze ilustrują sieć dróg, a białe powierzchnie są to obszary niezakłóconych siedlisk. Przy gęstości dróg równej 1 lub 2 km/km² migracja zwierząt jest jeszcze możliwa, ale już bardzo ograniczona [239]. W miarę zagęszczania się sieci drogowej na danym obszarze liczba zamieszkujących zwierząt stopniowo maleje, obszary niezakłóconych siedlisk są coraz mniejsze i stają się dla zwierząt niedostępne.

Pozostałości fragmentów odpowiedniego siedliska mogą ostatecznie stać się zbyt małe i wyizolowane, aby zapobiec wyginięciu miejscowych populacji. Natomiast przy gęstości dróg równej 3 km/km² występują już bardzo duże ograniczenia, a fragmentacja krajobrazu powoduje ekologiczne problemy. Krytyczny próg w gęstości drogi można stwierdzić przy gęstości równej 4 km/km² – siedliska zwierząt zanikają, a obszar jest dla nich niedostępny. Reasumując powyższe, przy gęstości drogi od 1 do 2 km/km² należy rozważyć

wszelkie dostępne środki i sposoby chroniące zwierzęta i zapewniające im migrację, a przy gęstości 3 km/km², oprócz budowy specjalnych przejść dla zwierząt, należy przeprowadzać dodatkowe prace ekologiczne związane z odnawianiem siedlisk.

We francuskich wytycznych [195] wskazano na inną, choć podobną, zależność. Fragmentację środowiska przedstawiono nie jako funkcję gęstości dróg na danym obszarze, a jako funkcję zależną od powierzchni danego obszaru ograniczonego drogami (ryc. 1.3). Jeśli obszar pomiędzy drogami ma powierzchnię 240 ha, to nie ma problemów środowiskowych, jeśli chodzi np. o populację zająca. Przy dwukrotnie mniejszej powierzchni pomiędzy drogami zachodzi potrzeba kompensacji przyrodniczych; mogą się pojawiać problemy z utrzymaniem wybranych populacji zająca. Natomiast przy jeszcze mniejszej powierzchni (60 ha) egzystencja populacji zająca zamieszkującej na danym obszarze jest poważnie zagrożona. W krótkim czasie może dojść do dużych problemów genetycznych, niezbędne jest więc podjęcie wszelkich działań kompensacyjnych. Przy powierzchni obszaru ograniczonego drogami równej lub mniejszej niż 30 ha populacja zająca nie ma szans na przetrwanie.



Ryc. 1.3. Wpływ powierzchni obszaru bytowania na populację zająca
Źródło: opracowanie graficzne na podstawie [193, rys. 2, s. 5].

Przykładem wpływu gęstości dróg na fragmentację krajobrazu może być sieć drogowa w Szwajcarii. Wykorzystując naturalną konfigurację terenu, w Szwajcarii buduje się wiele dróg z umiejscowieniem głównych ciągów drogowych poniżej istniejącego terenu, czyli w tunelach, nie burząc tym samym naturalnych siedlisk dzikich zwierząt, co zilustrowano na ryc. 1.4–1.5. W Szwajcarii, niezależnie od gęstości dróg, wybudowano przejścia wspomagające migrację zwierząt – zarówno na terenie pagórkowatym (ryc. 1.4), jak i rolniczym (ryc. 1.5), przy różnym zlokalizowaniu i kształcie kompleksu leśnego.

W Europie mimo wszystko jest bardzo dużo obszarów o małej gęstości dróg stanowiących naturalne obszary ekologiczne. Nadal jednak ocena, jakiej powierzchni obszar jest wymagany do zapewnienia przeżycia danego gatunku zwierząt, jest nie do końca możliwa. Zdaniem większości badaczy z dziedziny ekologii [28, 42, 68, 71, 75, 102, 117, 142, 167, 193, 194, 222, 223, 234, 239] najlepszym rozwiązaniem przeciwdziałającym procesowi fragmentacji jest kompensacja obszarów przyrody dla dzikich zwierząt.

Czasami decyzje są ekstremalne, gdyż wymagają trwałego lub tymczasowego zamknięcia dróg. Zamykanie dróg pozwala zmniejszyć dostęp zmotoryzowanym turystom do siedlisk przyrody, jednak jest to rozwiązanie ostateczne i stosowane w wyjątkowych sytuacjach. Na przykład w Stanach Zjednoczonych podejmowane są próby zamykania dróg w ramach programu ochrony niedźwiedzia grizzly (Grizzly Bear Conservation Program) [68, 236]. Jednak są to rzadkie przypadki w konkretnych wybranych rejonach w celu ochrony niedźwiedzi i zapewnienia im dostępu do siedlisk.



Ryc. 1.4. Przykład przyjęcia górnego na terenie pagórkowatym rolniczym, z równoległym do drogi kompleksem leśnym; autostrada A1 – Szwajcaria w pobliżu Cuarny
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

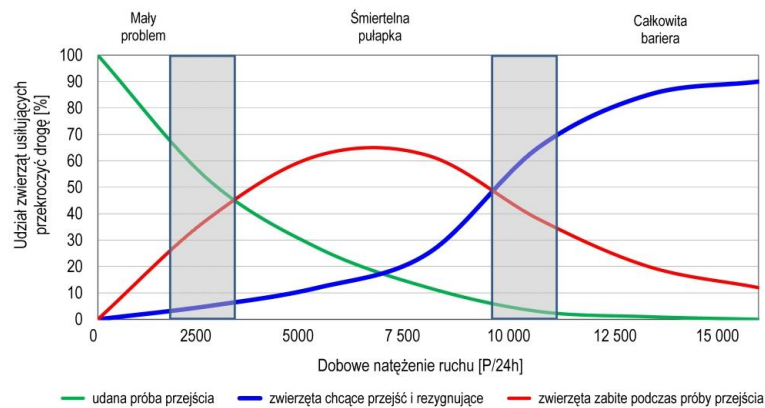


Ryc. 1.5. Przykład przyjęcia górnego na terenie płaskim rolniczym, z nieciągłymi zagajnikami leśnymi; autostrada A1 – Szwajcaria w pobliżu Lully
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W Europie przypadki zamykania dróg są niezmiernie rzadkie, a nawet czasowe zamknięcia stosowane są na krótkich odcinkach i ograniczają się do sezonów związanych z okresową migracją. A w sytuacji, gdy czasowe zamknięcie dróg jest niemożliwe, stosuje się inne środki zaradcze, np. tworzy się tymczasowe przejścia lub objazdy.

Coroczne czasowe zamykanie dróg dla ruchu kołowego stosuje się na Wyspie Bożego Narodzenia w pobliżu Australii (Christmas Island), znajdującej się ok. 380 km na południe od Jawy. Największą atrakcją turystyczną jest coroczna migracja ok. 100 mln czerwonych krabów [112], które przemieszczają się z lasu do morza, by złożyć w wodach ikrę. Kraby potrzebują ok. 5–7 dni, by dotrzeć z lasu do morza. Deszcze i wilgotne powietrze podczas zachmurzonych dni przyczyniają się do trudnych warunków, które powodują, że droga do morza jest długa i trudna. Gdy samice złożą w morzu jaja, po ok. miesiącu wylęgają się młode larwy długości ok. 5 mm. Po zakończeniu procesu wylęgania małe kraby wraz z dorosłymi osobnikami wracają do swoich siedlisk. Po czym kraby znikają w skalnych kryjówkach, pod złamanymi gałęziami i w rumowiskach lasu, aż do następnej migracji. Podczas szczytu migracji liczba krabów jest tak duża, że trzeba na krótkie okresy zamykać odcinki dróg znajdujące się na trasie migracji. Jasne czerwone pancerze krabów i ich niesamowita gęstość są dostrzegalne nawet z samolotu. Te okoliczności powodują, że buduje się w tym okresie wzdłuż dróg charakterystyczne naprowadzenia do specjalnych przepustów [6] i specyficzne mosty [21], po to by masa krabów mogła bezpiecznie dotrzeć do morza i wrócić z powrotem do swych siedlisk.

Najważniejszym czynnikiem brany pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o stosowaniu specjalnych rozwiązań jest dobowe natężenie ruchu na analizowanej drodze [39, 40, 42, 187, 188, 223, 239]. Tym zagadnieniem zajmował się w rozprawie doktorskiej Andreas Seiler [187]. Udowodnił on, że śmiertelność zwierząt związana z analizowaną drogą ma największy wpływ; w perspektywie długoterminowej, na utrzymanie populacji dzikich zwierząt. Na ryc. 1.6 przedstawiono opracowany przez niego model prawdopodobieństwa śmiertelności zwierząt podczas przekraczania drogi, który zależy od dobowego natężenia ruchu. W modelu rozpatrzono trzy przypadki: udane przejście zwierząt przez jezdnię (zielona krzywa), zwierzęta chcące przejść przez drogę, ale rezygnujące z tego zamiaru z powodu hałasu i natężenia ruchu (niebieska krzywa), a także prawdopodobieństwo udziału procentowego zwierząt, które zginęłyby podczas przechodzenia przez drogę (czerwona krzywa).



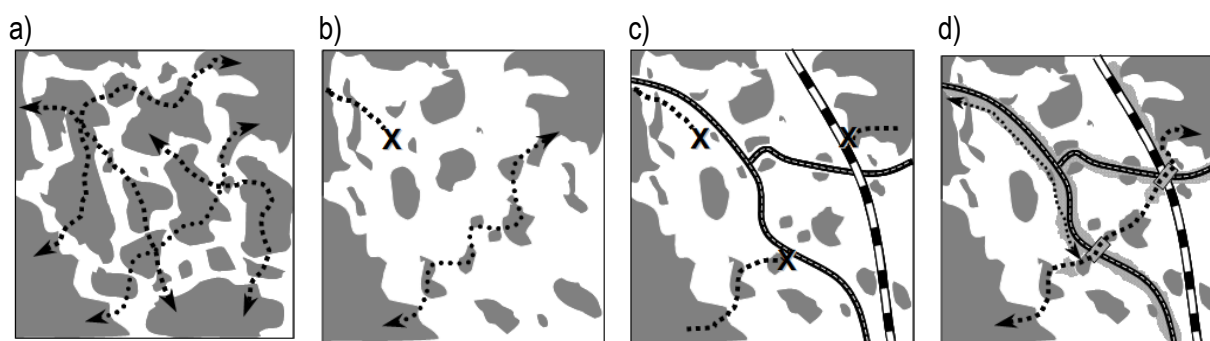
Ryc. 1.6. Model zmian prawdopodobieństwa udziału procentowego przeżycia zwierząt podczas przekraczania drogi, zależny od dobowego natężenia ruchu
 Źródło: opracowanie graficzne Andreas Seiler [187, rys. 7, s. 30, tł. A. Sołowczuk].

Z badań przeprowadzonych przez Andreeasa Seilera (ryc. 1.6) [187] wynika, że na drogach, na których dobowe natężenie ruchu nie przekracza 2500 P/24h, odsetek śmiertelności zwierząt związany z ruchem drogowym jest mały. Podobnie jest z odsetkiem zwierząt, które zrezygnowały z przejścia ze względu na hałas lub natężenie ruchu. Reasumując, dobowe natężenie ruchu na drodze wynoszące <2500 P/24h ma mały wpływ na zachowanie populacji zwierząt na danym obszarze.

W miarę wzrostu dobowego natężenia ruchu (2500–10 000 P/24h) wzrasta prawdopodobieństwo śmiertelności zwierząt, a także liczba zwierząt, które rezygnują z przekroczenia drogi. W ww. przedziale natężenia ruchu raptownie zmniejsza się liczba udanego przekroczenia drogi. Podsumowując, na drogach o dobowym natężeniu ruchu w granicach 2500–10 000 P/24h, na odcinkach zlokalizowanych w pobliżu siedlisk i na obszarach objętych ochroną ekologiczną, należy podjąć decyzję o zastosowaniu specjalnych przejść w celu ochrony zwierząt dziko żyjących, a na nowych, dopiero planowanych, drogach opracować inne ich przebiegi omijające siedliska.

Przy jeszcze większym dobowym natężeniu ruchu (> 10 000 P/24h) prawdopodobieństwo bezpiecznego przejścia zwierząt przez drogę jest niewielkie. Wiele zwierząt zbliżających się do drogi prawdopodobnie rezygnuje z przejścia z powodu hałasu i dużego natężenia ruchu, co oznacza, że ich śmiertelność związana z natężeniem ruchu jest mało prawdopodobna. Model Andreeasa Seilera służy przede wszystkim do oceny zmian odsetka śmiertelności zwierząt spowodowanych oddziaływaniem ruchu drogowego. Mały udział procentowy śmiertelności zwierząt na drogach o dużym natężeniu ruchu można zinterpretować w sposób następujący: bezpośrednio na drodze nie dochodzi do zdarzeń drogowych, ale skutki oddziaływania drogi na populację zwierząt w siedliskach prowadzą do ich zatrzymywania się na danym obszarze i w konsekwencji – do izolacji i degeneracji gatunków zwierząt żyjących na tym obszarze. Zgodnie z opinią Andreeasa Seilera wskazane na wykresie (ryc. 1.6) wartości i przebieg krzywych mogą ulec nieznacznym zmianom przy rozpatrywaniu poszczególnych gatunków zwierząt.

Rozdrobnienie siedlisk jest procesem rozdzielającym jednolite siedlisko na mniejsze obszary, które stają się coraz bardziej odizolowane od siebie. Na początku procesu naturalnej fragmentacji podział siedliska powoduje zmniejszenie różnorodności gatunków zwierząt i krajobrazu (ryc. 1.7a). Pod koniec procesu naturalnej fragmentacji, gdy dochodzą już czynniki związane z infrastrukturą drogową, wpływ podziału siedliska na izolację staje się większy [85]. Z badań Henrika Andrén [7] wynika, że liczba gatunków zwierząt znacznie się zmniejsza, gdy ponad 80% powierzchni pierwotnego siedliska zostanie utraconych, a pozostałości siedlisk pozostaną odizolowane. Progi fragmentacji zależą od wymagań i mobilności gatunków zwierząt oraz od różnorodności siedlisk.



Ryc. 1.7. Proces fragmentacji środowiska

Źródło: opracowanie graficzne Andreas Seiler i Inga-Maj Eriksson [39, rys. 2.3, s. 19].

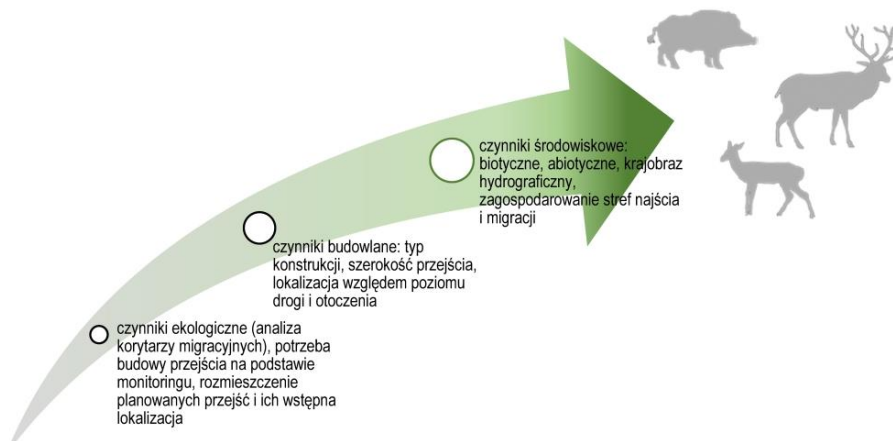
W przypadku, gdy pozostałości siedlisk są połączone korytarzami zielonymi lub mniejszymi porozdzielanymi powierzchniami zielonymi, możliwe jest minimalizowanie efektów izolacji i zapewnienie mimo wszystko migracji wielu gatunków (ryc. 1.7b). Na ryc. 1.7b przedstawiono ścieżkę migracyjną pomiędzy dwoma dużymi obszarami siedliskowymi, wykorzystującą korytarze i małe powierzchnie terenu zielonego oraz ścieżkę migracyjną zakończoną znakiem „X”, wskazującą, że dalej migracja jest niemożliwa, gdyż nie ma ciągłości terenu zielonego.

W przypadku, gdy drogi lub linie kolejowe powodują dodatkowe rozdzielanie siedlisk, negatywne skutki fragmentacji na dane populacje gatunków zwierząt mogą być osiągnięte znacznie wcześniej (ryc. 1.7c). W danym przypadku znak „X” oznacza, że nie ma ciągłości przejścia migracyjnego. Infrastruktura drogowa i kolejowa dzieli krajobraz na małe obszary – powstają wówczas bariery przemieszczania się zwierząt, co prowadzi do ich izolacji i coraz mniejszych siedlisk. Uwzględniając powyższe czynniki, zarządy drogowe i kolejowe w procesie planowania infrastruktury powinny brać pod uwagę istniejący stopień rozdrobnienia siedlisk, charakterystykę gatunkową zwierząt na tym obszarze i skalę przekształceń ekologicznych całego rozpatrywanego krajobrazu.

Istotna jest w tym wypadku szeroko rozumiana współpraca planistyczna (ekologów, planistów, urbanistów i drogowców) oraz wspólne opracowywanie planowanej infrastruktury (ryc. 1.7d). Zaplanowane przemyślane środki kompensujące fragmentację krajobrazu (przepusty, przejścia dolne lub górne, dodatkowe tereny zielone wzdłuż drogi lub linii kolejowej) mogą przyczynić się do przywrócenia siedlisk lub do poprawy łączności migracyjnej pomiędzy nimi [39, 40, 188].

Na ryc. 1.8 przedstawiono schemat zalecanego postępowania przy planowaniu działalności kompensacyjnej, mogący zapewnić dobrą funkcjonalność planowanego przejścia, związany z analizą czynników ekologicznych (zob. rozdz. 2), czynników budowlanych (zob. rozdz. 3) i czynników środowiskowych (zob. rozdz. 4).

Konsekwencje fragmentacji siedlisk przyrodniczych są złożone, ponieważ różnorodne gatunki zwierząt reagują odmiennie na utratę i izolację swojego siedliska. Na przykład gatunki o ograniczonej możliwości poruszania się, potrzebujące dużego obszaru lub wykazujące silną zależność od pewnego rodzaju siedlisk, będą pierwszymi gatunkami, które w wyniku fragmentacji doświadczą skutków utraty i izolacji siedlisk. I odwrotnie: na gatunki zwierząt, które posiadają zdolność adaptacji do różnorodnych siedlisk i które są bardziej odporne na zakłócenia, fragmentacja krajobrazu może nie mieć wyraźnego wpływu na warunki ich bytowania. W danym przypadku, choć fragmentacja krajobrazu spowodowana drogami lub liniami kolejowymi, może stanowić znaczną barierę w przemieszczaniu się, to populacje lokalne mogą utrzymywać się, pod warunkiem, że pozostałości ich siedlisk pozostaną wystarczająco duże.



Ryc. 1.8. Schemat zalecanych analiz prowadzących do zapewnienia funkcjonalności przejścia

Dobrym przykładem asymilacji zwierząt w podzielonym obszarze krajobrazu może być przejście górne wybudowane w Kanadzie nad autostradą A1, w pobliżu miejscowości Sawback (ryc. 1.9). Przejście wybudowano w ramach programu ochrony niedźwiedzia grizzly [19, 71, 80, 84]. Przejście pierwsze zaakceptowały sarny i daniele, które korzystały z niego już podczas budowy. Po zakończeniu prac budowlanych jako pierwsze przeszły przez przejście jelenie. Natomiast losia monitoring odnotował dopiero po trzech latach od ukończenia budowy. A pierwszego niedźwiedzia grizzly, dla którego głównie zostało wybudowane to przejście, monitoring odnotował dopiero po pięciu latach od ukończenia budowy [84, 239].

Reasumując powyższe, należy stwierdzić, że jeśli już dokonana została fragmentacja krajobrazu, to w ramach ochrony środowiska powinno się podjąć wszelkie działania prowadzące do odwrotnego zjawiska, czyli defragmentacji krajobrazu, tj. konkretne działania kompensacyjne związane z budową dolnych i górnych przejść habitatowych, umożliwiających migrację pomiędzy przeciętymi naturalnymi siedliskami.



Ryc. 1.9. Przykład dobrej asymilacji przejścia z otoczeniem – przejście górne wybudowane w Kanadzie nad autostradą A1 w Parku Narodowym Banff
Źródło: fot. Marcel Huijser [94].

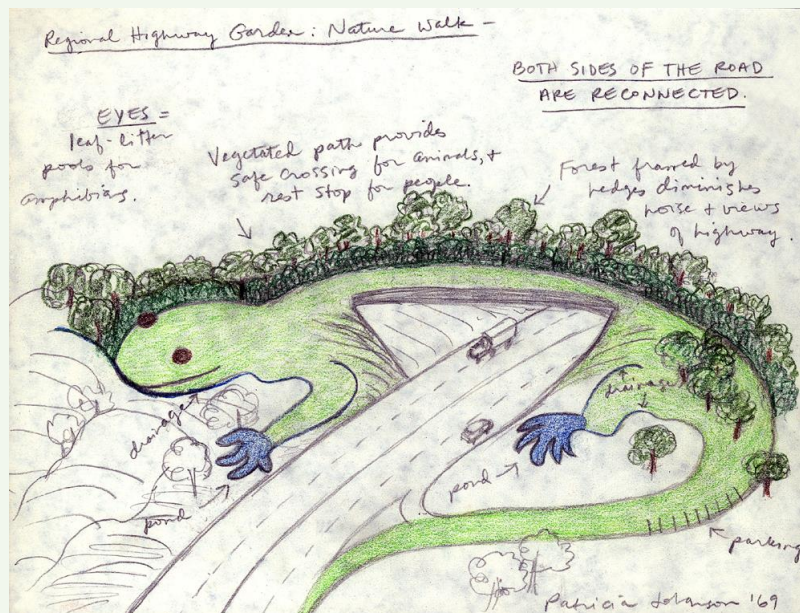
1.2. Korytarze i szlaki migracyjne uzasadniające budowę przejść dla zwierząt

Przy projektowaniu przejść dla zwierząt (górných i dolnych) wymagana jest wnikliwa analiza warunków środowiskowych, przede wszystkim dotyczących korytarzy, szlaków i ścieżek migracyjnych zwierząt żyjących w rozpatrywanej okolicy (ryc. 1.8). Potrzebne są analizy służby leśnej i wykaz ewentualnych gatunków zwierząt mogących skorzystać z budowanego obiektu. Od gatunków zwierząt żyjących na analizowanym obszarze zależy bowiem, zgodnie z wytycznymi [138], typ projektowanego przejścia.

Leśnicy i ekolodzy na podstawie śladów (tropów) oraz odchodów (ekskrementów) mogą określić z dużym prawdopodobieństwem gatunki mieszkańców każdego siedliska. Na ten temat jest wiele gotowych opracowań [5, 20, 106, 161 i 200]. W związku z tym z dużą dokładnością i z dużym prawdopodobieństwem profesjonaliści mogą określić gatunek zwierząt przebywających w danym siedlisku.

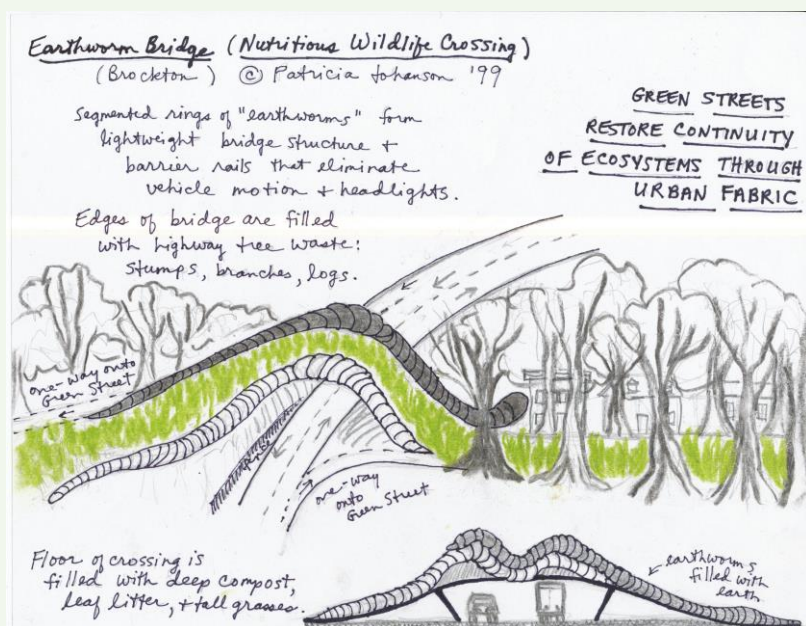
Należy również wspomnieć w tym miejscu o przygotowanej krajowej ofercie edukacyjnej dla starszej młodzieży w wersji internetowej [137, 199] i o publikacjach przeznaczonych dla dzieci przedszkolnych [214], przygotowanych na potrzeby krzewienia edukacji ekologicznej wśród najmłodszych.

W krajach zachodnich również przygotowuje się w tym zakresie różne wystawy środowiskowe w muzeach [224], publikacje, filmy w [68, 69, 70, 71, 72], edukacyjne zajęcia terenowe, prowadzone przez leśników i ekologów specjalnie dla dzieci [14, 67], a także konkursy rysunkowe na dziecięce, młodzieżowe lub studenckie wyobrażenia przejść habitatowych [10, 25, 26, 126]. W krzewienie kultury środowiskowej w szerokim tego słowa znaczeniu włączają się także artyści. Przykładem może być amerykańska artystka Patricia Johanson i jej grafiki ekologiczne, np. Regional Highway Garden: Nature Walk z 1969 r. (ryc. 1.10), Earthworm Bridge (Nutritious Wildlife Crossing – Brockton) z 1999 r. (ryc. 1.11) lub Ecological Infrastructure: Culvert (Brockton) z 1999 r. (ryc. 1.12). Artystka w sposób bardzo obrazowy przedstawia zrównoważone środowisko poprzez ilustracje przejść dla zwierząt za pomocą jaszczurki (ryc. 1.10 i 1.12) lub dżdżownicy (rys. 1.11), tworząc przekaz zrozumiały dla młodszego pokolenia. Rysunki zwierząt nad drogami, przedstawione przez artystkę na grafikach ekologicznych, sprzyjają wyjaśnianiu dzieciom potrzeby dbania o otaczający świat przyrody.

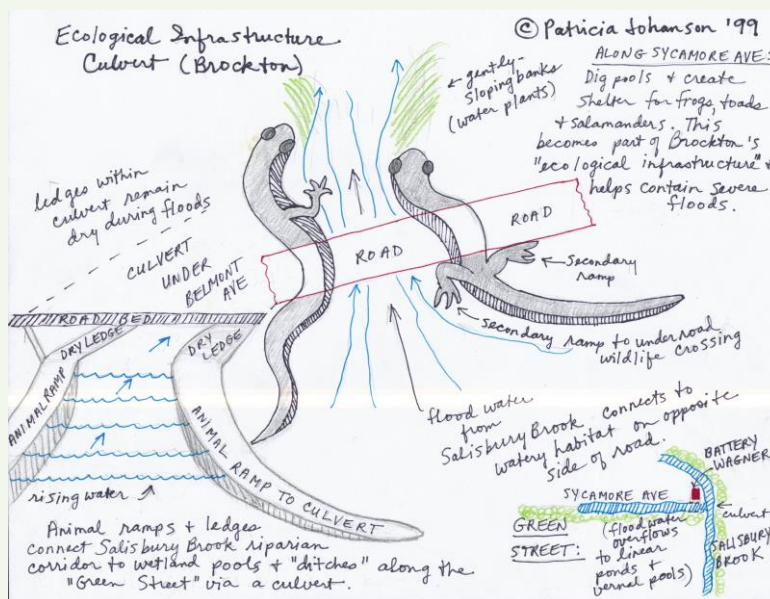


Ryc. 1.10. Przejście ekologiczne w parku regionalnym

Źródło: ©Patricia Johanson, 1969, Regional Highway Garden: Nature Walk [109].

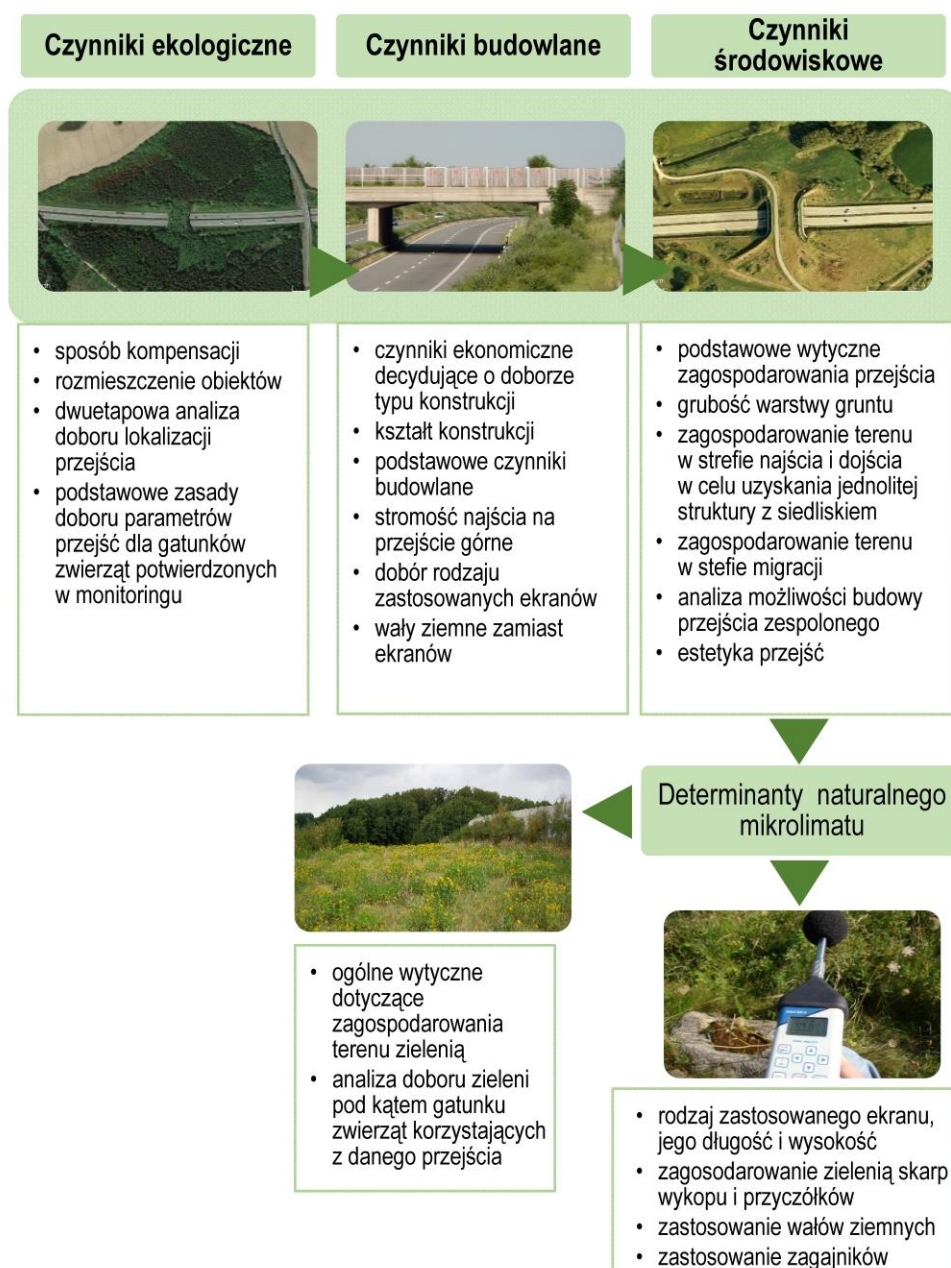


Ryc. 1.11. Most „dżdżownica” (przejście habitatowe – Brockton)
 Źródło: ©Patricia Johanson, 1999, Earthworm Bridge (Nutritious Wildlife Crossing - Brockton) [107].



Ryc. 1.12. Infrastruktura ekologiczna: Culvert (Brockton)
 Źródło: ©Patricia Johanson, 1999, Ecological Infrastructure: Culvert (Brockton) [108].

Zgodnie z krajowymi wytycznymi projektowymi [111] ważne jest, by przy planowaniu i budowie nowych dróg respektowane były wymagania różnych gatunków zwierząt. Urządzenia służące łagodzeniu skutków fragmentacji krajobrazu i ograniczające śmiertelność zwierząt powinny być dostosowane do ekologii, zachowań oraz systemów rozprzestrzeniania się i migracji lokalnej fauny.



Ryc. 1.13. Schemat postępowania podczas szczegółowej analizy stosowania kompensacji przyrodniczych, z zapewnieniem naturalnego mikroklimatu (tj. doboru nasadzeń pod kątem gatunku migrujących zwierząt oraz zmniejszenia poziomu hałasu drogowego w strefie najścia i migracji)

W procesie projektowym można również na bardzo wstępnym etapie skorzystać z gotowych opracowań głównych korytarzy migracyjnych przygotowanych przez polskich ekologów [46, 102, 116]. Jednak skala tych map utrudnia często opracowanie szczegółowych rozwiązań na krótkich odcinkach autostrad czy dróg ekspresowych, dlatego można skorzystać z dość szczegółowej mapy dostępnej w publikacji Jędrzejewskiego i in. [105] lub w internecie [131, 149] i wstępnie przeanalizować przebieg nowej drogi z istniejącymi przejściami zaznaczonymi na ww. mapach. W celu opracowania projektu koncepcyjnego drogi jednak należy skorzystać z opracowań dostępnych w Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska (RDOŚ) i wykonać odpowiednią ocenę środowiskową. Obecnie w kraju opracowywane są nowe propozycje odnośnie do zmian organizacyjno-prawnych dotyczących przejść dla zwierząt [182]. W ramach konsultacji społecznych przyrodnicy zaopiniowali projekt nowych wytycznych, podkreślając, że w projektach drogowych należy uwzględnić zasady zrównoważonego rozwoju, tj. budować przejścia habitatowe zgodnie z ich

przeznaczeniem, czyli „[...] przede wszystkim dla zwierząt, by umożliwić w miarę niezakłócone funkcjonowanie ich populacji w krajobrazie poprzecinany przez drogi [...]” [155, s. 2].

W celu zapewnienia dobrej funkcjonalności przejścia po jego wybudowaniu należy przeprowadzić analizę czynników ekologicznych, budowlanych i środowiskowych wymienionych na ryc. 1.8. Jednak czynniki środowiskowe powinny jednocześnie uwzględniać szczegółową analizę otaczającego krajobrazu w celu uzyskania jednolitej struktury siedliskowej (ryc. 1.13). Również na podstawie monitoringu powinien być określony gatunek zwierząt, dla których budowane jest dane przejście i planowane zagospodarowanie zieleni terenu przejścia oraz najbliższego otoczenia. Kolejna niezbędna analiza powinna dotyczyć konieczności zastosowania poszczególnych elementów zagospodarowania danego przejścia, mających istotny wpływ na mikroklimat w strefie przejścia i migracji (ryc. 1.13), czyli na poziom hałasu drogowego, zmniejszenie ilości spalin i zanieczyszczenia.

1.3. Klasyfikacja górnych przejść dla zwierząt zaproponowana przez ekologów, biologów i leśników

Obiekty ekologiczne służące łagodzeniu skutków fragmentacji i ograniczające śmiertelność zwierząt muszą być dostosowane do ekologii, zachowań oraz systemów rozprzestrzeniania się i migracji lokalnej fauny. Poszczególne gatunki zwierząt różnią się między sobą systemem rozprzestrzeniania się i formami zachowań. Gatunki, które rozprzestrzeniają się względnie szybko na dużych odległościach (np. lisy), nie odczuwają negatywnego wpływu dróg z taką siłą jak zwierzęta, które rozprzestrzeniają się wolniej (np. borsuki, płazy); dlatego gatunki te są bardziej wrażliwe na fragmentację ich siedlisk przez drogi. Ważne jest to, by podczas planowania i budowy nowych dróg respektować wymagania różnych gatunków.

Równie ważne są możliwości inwestora z uwagi na to, że trzeba podjąć decyzję o **typie przejścia, czyli budowie mostu zielonego lub krajobrazowego**. Bardzo potrzebna jest także szczegółowa analiza dotycząca lokalizacji przejścia i **warunków ruchu** na pobliskich **drogach lokalnych**, a przede wszystkim na drogach gruntowych znajdujących się w pobliżu planowanego przejścia dla zwierząt. Związane jest to z założeniami techniczno-ekonomicznymi, gdyż czasami zachodzi potrzeba zaprojektowania **obiektów**, które na swojej szerokości zawierają także drogę gruntową.

Małym zwierzętom, np. jeżom, kunom, borsukom i lisom, wystarczą niewielkie przejścia dolne, czyli przepusty ekologiczne pod drogami. Większe zwierzęta, tj. jelenie, sarny, łosie i dziki, boją się zamkniętych przestrzeni; dla nich buduje się tunele pod drogami, o dużej średnicy, bądź specjalne przejścia górne nad trasami komunikacyjnymi, zwane potocznie ekoduktami.

Niektóre przejścia dla zwierząt, oprócz funkcji ekologicznych, mogą również częściowo pełnić funkcje gospodarcze. Z tego względu w wytycznych wprowadzonych w 2002 r. podzielono przejścia na [111]:

- a) przejścia samodzielne – przeznaczone wyłącznie do celów ekologicznych, które należy specjalnie oznakować i w promieniu 1 km podać informację, że obiekt jest przeznaczony tylko dla zwierząt; na terenie przejścia natomiast, wzorem państw zachodnich, rozłożyć głazy kamienne oraz karpinę, co znacznie utrudni ludziom przejazd przez to przejście;
- b) przejścia zespolone – budowane przy założeniu możliwości jego wykorzystywania także do innych celów, w tym gospodarczych.

Na początku XXI w. polscy ekolodzy, leśnicy, biologowie i konstruktorzy, wzorem państw zachodnich, na podstawie wytycznych opracowanych przez czołowych europejskich ekologów [40, 42, 74], zaproponowali podział górnych przejść dla zwierząt na [103, 104, 111, 116, 242]:

– **mosty zielone** – przejścia w kształcie wiaduktu nad drogą, o efektywnej szerokości w największym miejscu równej 35–80 m. Szerokość przejścia zwiększa się płynnie lejkowato w kierunku podstawy najść

w obu kierunkach. Przejścia te są szczególnie zalecane do przemieszczania się dużych ssaków kopytnych (takich jak: jeleni i łoś);

- **mosty krajobrazowe** – przejścia nad drogą w formie wiaduktu; o efektywnej szerokości w największym miejscu równej co najmniej 80 m. Szerokość przejścia zwiększa się lekko w sposób płynny w kierunku podstawy obu najść. Droga przejścia dla zwierząt powinna być prawie pozioma lub może mieć niewielkie pochylenia. Droga przeznaczona do ruchu kołowego znajduje się pod mostem krajobrazowym w wykopie. Charakterystyczne są też na moście krajobrazowym specjalne wały ziemne oraz bujnie rosnąca na nich zieleń, która skutecznie tłumi hałas i zasłania światła samochodów, więc sprzyja bezpiecznemu przechodzeniu zwierząt.

Jednak zdaniem ekologów najbardziej efektywne jest zrównoważone budowanie przejść samodzielnych, z których korzystają jedynie zwierzęta, „[...] każdy bowiem ślad obecności człowieka zniechęca je do korzystania z przejścia i jednocześnie zmniejsza szanse na przeżycie i dalszą egzystencję zarówno pojedynczego osobnika, jak i całej populacji [...]” [117, s. 276].

2. Analiza czynników ekologicznych podczas projektowania przejść górnych

2.1. Wprowadzenie

Przed wykonaniem projektu przejścia habitatowego powinna być przeprowadzona w pierwszej kolejności ocena środowiskowa czynników ekologicznych branych pod uwagę podczas oceny opracowanych wariantów projektowanej drogi lub podczas oceny obszarów konfliktowych związanych z istniejącą siecią dróg. Czynniki ekologiczne uwzględniane w powyższych analizach wymieniono na schemacie przedstawionym na ryc. 2.1, a ich omówienie wraz z przykładami praktycznymi przedstawiono w kolejnych podrozdziałach.



Ryc. 2.1. Schemat głównych czynników ekologicznych uwzględnianych podczas projektowania przejść dla zwierząt dziko żyjących

2.2. Sposoby kompensacji przyrodniczych

Jak już wyżej wspomniano, sieci dróg i linii kolejowych powodują fragmentację krajobrazu (ryc. 2.2). Jeśli na trasie nowo projektowanej drogi znajdują się siedliska zwierząt, to wg teorii Bjørn Luell [42, 100, 239] najlepszym rozwiązaniem jest przeprojektowanie trasy drogi (ryc. 2.2a) i ominięcie danego siedliska. Z reguły jednak bywa tak, że projekt drogi oraz wytyczenie jej trasy wykonano wiele lat temu i zmiana tej trasy jest niemożliwa. Ale bywało również i tak, że ocena środowiskowa była przeprowadzana dla starego projektu drogi – wiele lat po opracowaniu tego projektu [55, 206] lub ocena była dodatkowo przeprowadzana na skutek protestów, gdy część drogi była już wybudowana, a zmiana trasy drogi była zbyt kosztowna i mało opłacalna [55, 206]. Trzeba w tym miejscu wspomnieć o problemie związanym z budową obwodnicy Augustowa i połączenia jej z drogą ekspresową S61, w odniesieniu do problemu utrzymania naturalnego środowiska [173]. W tym wypadku przy rozpoczętej już budowie drogi ekspresowej zmieniono plany i uratowano sporną część unikatowego środowiska doliny Rospudy, bez rozwijania w niej infrastruktury drogowej [135, 219, 232]. Powyższy problem od 2010 r. w Polsce uregulowały odpowiednie przepisy [181], w związku z czym obecnie do wydania decyzji o pozwoleniu na budowę potrzebna jest ocena środowiskowa.

Według teorii Bjørn Luell [42, 100, 239] w sytuacji, gdy już doszło do fragmentacji siedliska, należy podjąć działania związane z kompensacją środowiskową. Podobnie jest przy projektowaniu nowych ciągów komunikacyjnych i stosowaniu w miejscach konfliktu z naturalnym środowiskiem następujących kompensacji

– budowy przejść dolnych i górnych (ryc. 2.2c) lub tworzenia nowych środowisk zamiennych w pobliżu (ryc. 2.2d).

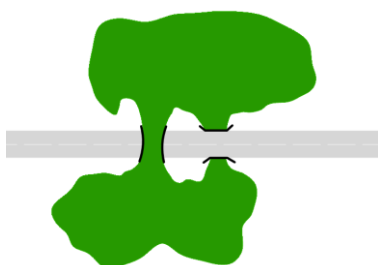
a) przecięcie siedliska przez drogę



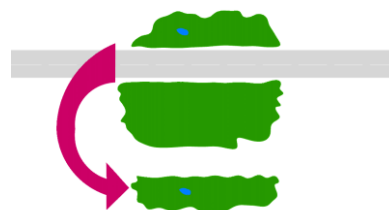
b) ominięcie siedliska i zmiana trasy drogi



c) budowa przejść górnych lub dolnych



d) przeniesienie siedliska w nowe miejsce wraz z oczkiem wodnym



Ryc. 2.2. Możliwe kompensacje przyrodnicze związane z fragmentacją siedliska
Źródło: opracowano graficznie na podstawie [42].

Rozróżnia się kilka rodzajów kompensacji przyrodniczych [36, 42, 52, 121, 127, 133, 142, 158, 195, 213, 234, 239], których przykłady przedstawiono na ryc. 2.3, 2.4, 2.5 i 2.6. Do nich zalicza się budowę przejść lub przeniesienie siedliska. Podstawową zasadą kompensacji środowiskowych jest budowa przejść dolnych samodzielnych (ryc. 2.3).

Z badań ekologów [36, 42, 52, 121, 127, 133, 142, 158, 195, 234, 239] wynika, że przejścia dolne, jeśli znajdują się na trasie migracji zwierząt i są dostosowane do warunków środowiskowych (tzn. pod mostem bądź pod estakadą jest pozostawiony naturalny krajobraz zielony), to są one częściej wykorzystywane przez zwierzęta niż przejścia górne. Należy podkreślić, że przy definiowaniu przejścia dolnego nie należy brać pod uwagę przypadkowego przejścia dolnego o znaczeniu gospodarczym, adaptowanego na przejście habitatowe, co bardzo często zdarzało się w Polsce przy budowie autostrad i dróg ekspresowych, których projekty koncepcyjne opracowano wiele lat temu. Im mniej pod obiektem jest oznak działalności człowieka, tym częściej to przejście dolne jest wykorzystywane przez zwierzęta. Powinno to być przejście przeznaczone tylko dla zwierząt.

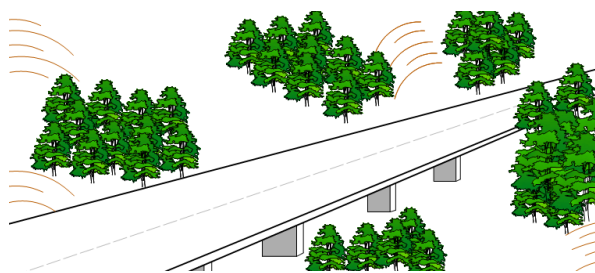
Zgodnie z zaleceniami zawartymi w literaturze przedmiotu [42, 43, 142, 198, 239] w przypadku budowy przejścia dolnego pod drogą dwujezdniową należy zadbać o rozsuniecie przęsła obu jezdni, by pod obiektem mogło dotrzeć światło naturalne umożliwiające rozwój roślinności pod obiektem. Nie powinno się stosować wąskich świetlików pomiędzy przęsłami, które powodują tworzenie się pod obiektem zjawiska pogłosu i zwiększony poziom hałasu drogowego.

Najbardziej rozpowszechnioną formą kompensacji przyrodniczych są przejścia dolne. W przypadku szerokich i czasami średnio szerokich przejść dolnych duża rozpiętość obiektu i wysokość światła pod obiektem umożliwia ich wykorzystanie przez różnorodne zwierzęta – zarówno ssaki, płazy, jak i gady [9, 36, 77]. Dobra skuteczność obiektów dolnych związana jest z zapewnionymi dużymi naturalnymi otwartymi

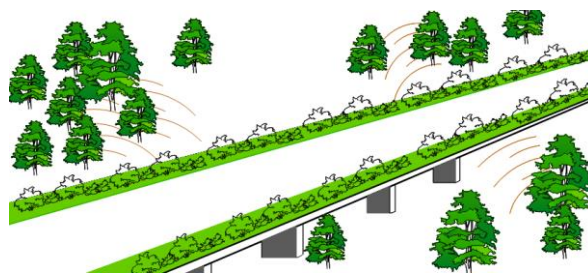
obszarami pod nimi. Podstawową zasadą dobrej funkcjonalności przejścia dolnego jest odpowiednia topografia okolicy i zapewnienie dobrze funkcjonującej strefy naprowadzania zwierząt pod obiekt.

Czasami budowa przejść dolnych jest bardziej skomplikowana, gdyż ścieżki migracyjne przecinają np. dolinę w różnych kierunkach. Podobne sytuacje odnotowuje się niezmiernie rzadko, ale mogą one zaistnieć w specyficznych warunkach. Wówczas na górnym poziomie obowiązują zasady projektowe takie jak na zespolonych przejściach górnych, a na dolnym poziomie – zasady projektowe stosowane na przejściach dolnych. Zgodnie z zaleceniami ekologów [144, 192] pasy zieleni zastosowane na górnym poziomie obiektu powinny zapewniać bezkonfliktową egzystencję środowiskową i drogową. Trzeba podkreślić, że koegzystencja zwierząt i ruchu drogowego może dotyczyć jednak tylko dróg lokalnych o małym natężeniu ruchu [144, 192].

Jeśli zachodzi potrzeba budowy wspólnego przejścia, to teren zielony na obiekcie powinien być wyraźnie odgradzony od jezdni drogi lokalnej – zgodnie z wytycznymi [239] za pomocą zieleni lub zgodnie z wytycznymi [222] za pomocą pasa zieleni z gławami i karpinami (ryc. 2.4). Strefa migracji dla małych zwierząt na powierzchni przejścia zespolonego powinna być wyraźnie oddzielona od części przeznaczony dla samochodów; przy krawędzi obiektu po obu jego stronach powinien być wprowadzony ekran (najlepiej drewniany – szczelny), który stanowiłby dla małych zwierząt osłonę zarówno przeciwhałasową, jak i przeciwośnieńniową. Czasami wg ww. wytycznych dopuszcza się, w zależności od warunków obiektu, odgradzenie strefy migracji tylko gęsto ułożonymi karpinami (ryc. 2.8 i 2.9).



Ryc. 2.3. Ilustracja przejścia dolnego samodzielnego, zlokalizowanego pod estakadą



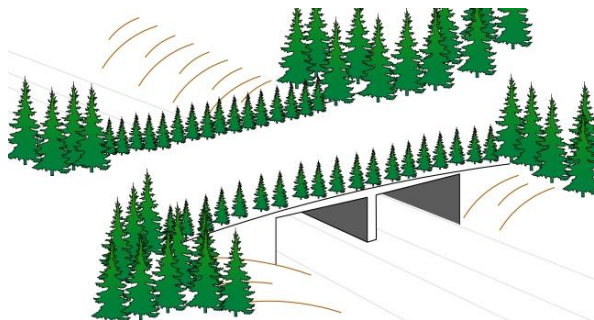
Ryc. 2.4. Ilustracja przejścia wielofunkcyjnego – przejście dolne i przejście górne zespolone

Innym przykładem podstawowych rozwiązań kompensacji środowiskowych są przejścia górne samodzielne. Przejścia samodzielne przeznaczone są tylko do komunikacji zwierząt [111, 133]. Mogą to być mosty zielone lub mosty krajobrazowe (ryc. 2.5). Są to specyficzne konstrukcje, budowane rzadziej niż przejścia dolne ze względu na duże koszty [111]. Biorąc powyższe pod uwagę, najważniejszą kwestią przy budowie górnych przejść samodzielnych jest ściśle wyznaczona lokalizacja, uwzględniająca wiele czynników środowiskowych (warunków biotycznych, abiotycznych, warunków krajobrazowych itd., przedstawionych na ryc. 1.8 i 1.13) i wymagań w odniesieniu do parametrów technicznych. Jest to zdaniem ekologów najważniejsze rozwiązanie, służące szczególnie zapewnieniu utrzymania siedlisk i zapewnieniu bezpiecznych korytarzy migracyjnych [37, 38, 39, 41, 42, 77, 121, 133, 234, 238, 239]. W przypadku przejść górnych mogą to być także przejścia zespolone (ryc. 2.6).

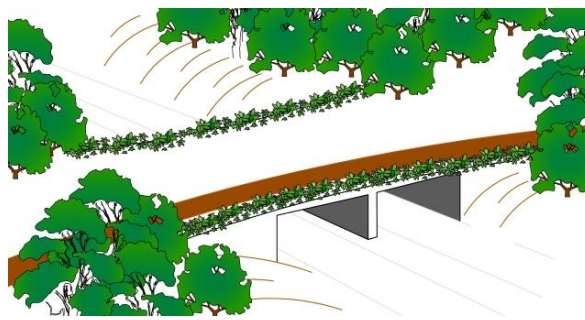
Podstawowe zasady projektowania takich przejść są podobne do zasad dotyczących przejść górnych samodzielnych typu mosty zielone [111]. Na mostach krajobrazowych przejścia zespolone buduje się niezmiernie rzadko, wyraźnie rozgraniczając dwie funkcje przejścia.

Przejścia zespolone zazwyczaj buduje się na terenach rolniczych, w pobliżu siedzib ludzkich. Jednak trzeba pamiętać, że zwierzęta będą z nich korzystać tylko wówczas, gdy dobowe natężenie ruchu na drodze zlokalizowanej na obiekcie zespolonym nie przekracza 150 P/24 h [116, 133, 144, 194]. W przypadku przejść zespolonych obszar i funkcje na obiekcie, w odniesieniu do komunikacji ludzi i komunikacji zwierząt, muszą być ściśle rozgraniczone i nie powinny się krzyżować. Mogą to być również np. drogi gruntowe,

ścieżki spacerowe leśne, drogi rowerowe. Droga wówczas powinna się znajdować przy krawędzi obiektu. Powinna być wyraźnie rozgraniczona przestrzeń drogowa od przestrzeni przeznaczonej dla zwierząt dziko żyjących. Rozgraniczenie obu przestrzeni powinno być podkreślone wałami ziemnymi i roślinnością. Przykłady przejść zespolonych z dobrym rozdzieleniem obszarów migracji i drogi przedstawiono na ryc. 2.7–2.12.



Ryc. 2.5. Ilustracja przejścia górnego samodzielnego



Ryc. 2.6. Ilustracja przejścia górnego zespolonego

Z reguły na przejściu zespolonym (ryc. 2.7) w zależności od możliwości, tj. szerokości obiektu, poza jezdnią ustawia się zamiast karpin (ryc. 2.8) niewysokie ekrany drewniane, a dopiero za nimi, na terenie strefy migracji, formuje się wał z karpin (ryc. 2.9, 2.10). W tym wypadku jednak minimalna faktyczna szerokość strefy migracji powinna być równa co najmniej 1 m. Przy tak wąskich strefach migracji należy szczególnie zadbać o ogrodzenia naprowadzające, chroniąc w ten sposób małe zwierzęta przed kolizją z pojazdami (ryc. 2.9). Niejednokrotnie zwierzęta korzystają z przejścia jeszcze podczas budowy, dlatego w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu już wówczas należy zadbać o ustawienie ogrodzeń naprowadzających. Przy drogach gruntowych o bardzo małym natężeniu ruchu minimalna szerokość pasa zieleni po obu stronach drogi powinna wynosić co najmniej 1 m, przy minimalnej miąższości gleby 0,3 m [195, 225].

Możliwe jest także zagospodarowanie terenu w strefie migracji tylko poprzez uformowanie niewysokich wałów ziemnych (do 0,3 m) obsianych trawą lub roślinami zielnymi. Bardzo istotnym czynnikiem budowlanym jest zadbanie przy wąskich przejściach zespolonych o warunki sprawnego odwodnienia powierzchni obiektu (ryc. 2.11). Z reguły wąskie przejścia zespolone stosuje się, adaptując istniejące kładki dla pieszych i rowerzystów, wybudowane nad kotlinami lub drogami dwujezdniowymi (ryc. 2.12); takie rozwiązania są stosowane szczególnie w Ameryce i w krajach zachodniej Europy [15, 195, 239].

Przykładem dobrego połączenia czynników ekologicznych, budowlanych i środowiskowych jest wąskie przejście dla małych zwierząt wybudowane ostatnio w Holandii. W mieście Groningen na terenie parku Meedenpad żyją małe zwierzęta: jeże, zające i lisy. Rosną tu krzewy, rośliny ozdobne, jest tutaj także kilka cieków wodnych, co wspólnie tworzy przyjazne siedlisko dla małych zwierząt. W parku Meedenpad jest również kilka ścieżek spacerowych i ścieżek rowerowych. Holendrzy, uwzględniając zrównoważone potrzeby wspólnego środowiska, budują przejścia zespolone, łącząc ewentualne przejścia dla zwierząt ze ścieżkami spacerowymi, z których korzystają nieliczni mieszkańcy. Jedno z kilku takich obiektów przedstawiono na ryc. 2.7.

Szerokość przejścia przeznaczona dla ludzi wynosi 4 m; dla zwierząt pozostawiono pas szerokości 3,5 m, z nawierzchnią gruntową, która z czasem pokryje się zielenią (ryc. 2.7). Obie części rozdzielają niewysoki murek i rząd posadzonych krzewów. Bariery na przejściu tworzą gabiony ułożone z drobnych kamieni, stanowiące zarówno osłonę przeciwhałasową, jak i przeciwoślnościową. W celu zapewnienia schronienia mniejszym zwierzętom na pasie przyszłej zieleni rozłożono kilkanaście niewielkich karpin [61, 67]. Zwraca uwagę nieduża wysokość barier z gabionów; wg Nehaoua [144] wysokość barier ochronnych powinna być dostosowana do danego gatunku zwierząt, by nie stworzyć przypadkiem efektu przejścia tunelowego.



Ryc. 2.7. Przeście zespolone dla rowerzystów i małych zwierząt
Źródło: fot. Johan Fehrmann [67].



Ryc. 2.8. Przeście zespolone dla małych zwierząt
Źródło: fot. De Vormgeving van Faunapassages, DEEL III, MJPO [234, rys. 10.166, s. 180].



Ryc. 2.9. Przeście zespolone Kerkrade
Źródło: fot. Raymond Tilmans Provincie Limburg, Holandia [221].



Ryc. 2.10. Zabezpieczenie przejścia zespolonego Vaesrade podczas budowy
Źródło: fot. Raymond Tilmans Provincie Limburg, Holandia [221].



Ryc. 2.11. Przykład strefy migracji małych zwierząt i systemu odwodnienia na przejściu zespolonym w Holandii
Źródło: fot. Marcel Huijser [94].



Ryc. 2.12. Przeście wielofunkcyjne dla małych zwierząt wybudowane w pobliżu stadniny
Źródło: fot. Marcel Huijser [94].

W latach 1960–1980 wybudowano w krajach zachodnich dla małych zwierząt wiele wąskich przejść [28] o podobnych parametrach, których kilka przykładów przedstawiono na ryc. 2.7–2.12. Na wąskich przejściach zespolonych łączy się zasadniczo dwie funkcje części zielonej przeznaczonej dla małych zwierząt (jeży,

zajaców i lisów) i ścieżki dla pieszych, przy zakładanym ograniczonym ruchu pieszych i rowerzystów, gdyż tylko wówczas przejście będzie funkcjonalne. Ponadto w przypadku łączenia wąskich przejść zespolonych, ze ścieżkami rowerowymi czy pieszymi, z drogami leśnymi, o nieutwardzonej nawierzchni, przy projektowaniu należy brać pod uwagę to, by obiekty habitatowe nie stały się ulubionym miejscem spacerów mieszkańców z psami. Jeśli bowiem z danego przejścia będą korzystać psy, to stanie się ono mniej funkcjonalne dla dzikich zwierząt. Obiekty z wydzielonym pasem zieleni stosuje się również w ciągu drogowym na terenach górskich. Jednak zawsze są to rozwiązania stosowane w ciągu dróg lokalnych z nawierzchnią gruntową. Na obiektach tych mogą być dla zwierząt lądowych wprowadzone pasy wegetatywne lub, w szczególności dla zwierząt żyjących w środowisku wodnym, niewielkie kanały wodne. Jednak o funkcjonalności wąskiego przejścia zespolonego decydują przede wszystkim wymagania środowiskowe i natężenie ruchu na drodze lokalnej. Rozwiązania takie mogą spełniać swoją funkcję na drogach gruntowych i w podzielonych środowiskach, w których zwierzęta są przyzwyczajone do obecności człowieka. Jednak na powierzchni tych obiektów zawsze powinny być wydzielone dla zwierząt dziko żyjących pasy zieleni. Z badań przeprowadzonych przez Jean Carsignol [28] na istniejących przejściach we Francji wynika, że jeśli wybudowane przejście zespolone ma szerokość minimum 7,5 m i jeśli na jego powierzchni znajduje się droga gruntowa o szerokości do 3,5 m, to przy dobrym zagospodarowaniu pozostałej części przejścia zielenią z ułożonymi karpinami i głązami można zapewnić małym zwierzętom bezpieczną migrację. Jednak takie rozwiązanie wg wytycznych francuskich dotyczyć może tylko dróg o bardzo małym, sporadycznym, natężeniu ruchu ludzi [144]. W takim wypadku na drodze może być zastosowana wyłącznie nawierzchnia gruntowa, a część przejścia przeznaczona do komunikacji zwierząt powinna być bardzo dobrze zagospodarowana, z uwzględnieniem specyfiki poruszania się różnych gatunków zwierząt.

Jednym z takich rozwiązań, znanym w Polsce z publikacji Józefa Curzydły [46, 47], jest przejście wybudowane nad autostradą A4 i drogą lokalną Rue de la Forêt w kompleksie leśnym o powierzchni ok. 16 ha, w pobliżu wsi Marbehan i Habay-la-Neuve, na granicy Luksemburg–Belgia; obiekt ma 8 m szerokości (ryc. 2.13). Po obu stronach obiektu wybudowane są drewniane ekrany i posadzone gęsto drzewa, imitujące najścia na obiekt. Obiekt znajduje się na równym poziomie z okolicznym lasem, a autostrada w głębokim wykopie, przecinając siedlisko leśne na długości 3,2 km. Zagospodarowanie strefy migracji, dobrze odwzorowujące okolice kompleksu leśnego, sprawia (ryc. 2.14), że wąskie przejście jest często wykorzystywane przez dzikie zwierzęta, szczególnie sarny [47].



Ryc. 2.13. Przykład wąskiego przejścia, o szerokości 8 m, wybudowanego nad autostradą A4
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



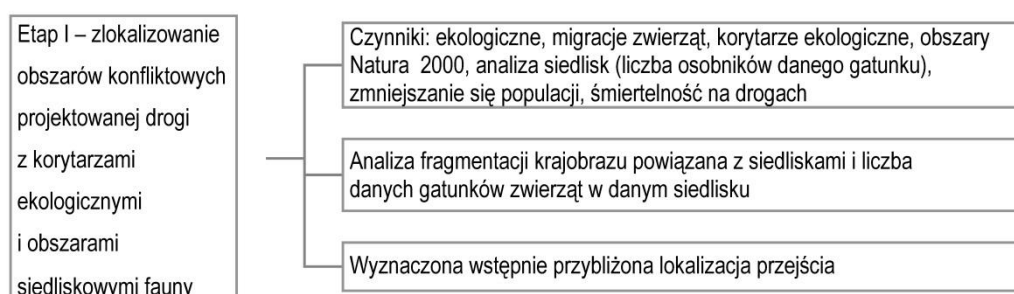
Ryc. 2.14. Bardzo dobre wkomponowanie obiektu w otaczający krajobraz i uzyskanie jednolitej struktury przeciętego siedliska
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

2.3. Dwuetapowa analiza doboru lokalizacji przejścia dla zwierząt

Zgodnie z wytycznymi polskimi i zagranicznymi ustalanie lokalizacji przejść dla zwierząt przebiega w dwóch etapach [84, 100, 148, 161, 222]:

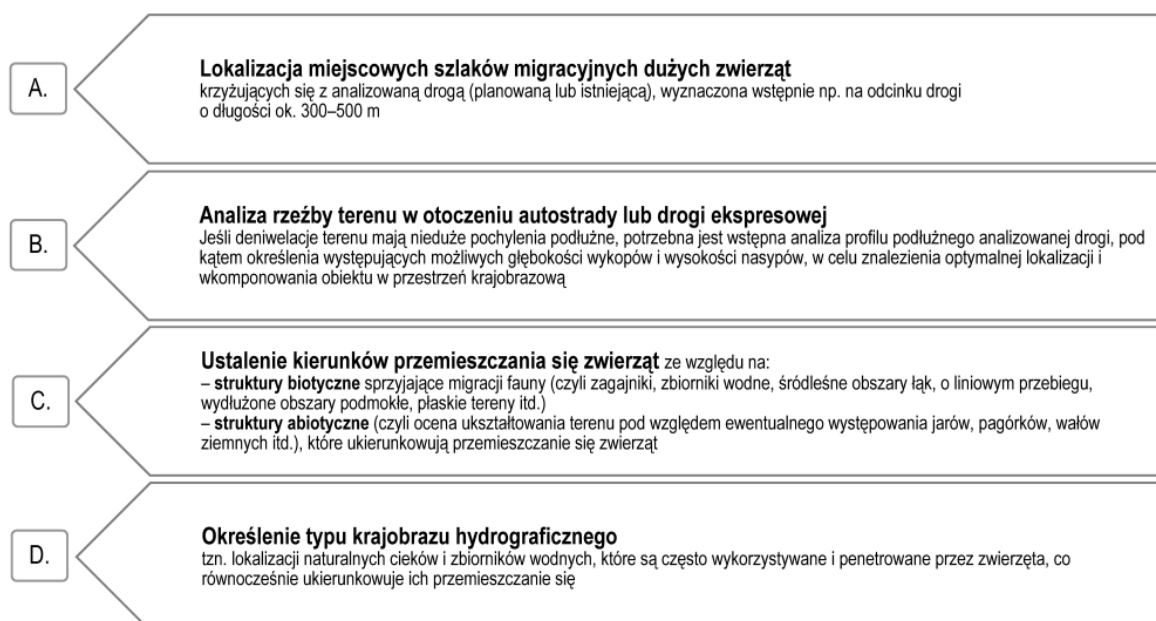
- a) etap I – zlokalizowanie obszarów konfliktowych projektowanej drogi, z korytarzami ekologicznymi i obszarami siedliskowymi fauny (ryc. 2.15);
- b) etap II – szczegółowe określenie lokalizacji projektowanych przejść, na podstawie wielokryterialnej waloryzacji krajobrazu, pod kątem możliwości przemieszczania się zwierząt (ryc. 2.16).

W etapie I, biorąc pod uwagę funkcjonowanie populacji zwierząt w krajobrazie, czyli bliższe lub dalsze ich przemieszczanie się, według ekologów [155] prace badawcze ukierunkowane są na wykorzystanie biotopu, zachowanie łączności pomiędzy częściami populacji, możliwości migracji i dyspersji. Wymienione czynności podejmowane w analizach środowiskowych mogą dotyczyć zarówno dróg dopiero planowanych, jak i dróg istniejących, na których wzrosło natężenie ruchu, co mogło być przyczyną powstania miejsc konfliktowych oraz oddziaływania barierowego.



Ryc. 2.15. Schemat czynności w etapie I, zalecany do wyznaczenia wstępnej lokalizacji przejścia

Analiza zaleceń odnośnie do wielokryterialnej waloryzacji krajobrazu [100, 133, 148, 161] stanowi etap II. Na ryc. 2.16 przedstawiono podstawowe czynniki potrzebne do wyznaczenia szczegółowej lokalizacji przejścia.



Ryc. 2.16. Schemat czynności w etapie II, zalecany do wyznaczenia szczegółowej lokalizacji przejścia

Poniżej omówiono poszczególne czynności podane na ryc. 2.16 na podstawie kilku przykładów:

- A. Przykładem zapewnienia ciągłości tras migracyjnych i planowania przemysłanych kompensacji przyrodniczych, w postaci połączonych lokalizacyjnie mostów zielonych, może być podwójne przejście nad torami kolejowymi, autostradą A1 i drogą krajową nr 1 w Szwajcarii koło wsi Kernenried (ryc. 2.17). Oba przejścia znajdują się w dużym kompleksie leśnym, w pobliżu niewielkich polan leśnych, w związku z czym ich zagospodarowanie dostosowano do okolicznych warunków.
- B. Przykładem uwzględnienia analizy rzeźby terenu może być przejście górne wybudowane nad drogą krajową B96 w Niemczech, w pobliżu wsi Wilmshagen (ryc. 2.18).
- C. Na ryc. 2.19 przedstawiono przejście zlokalizowane na szlaku migracyjnym w lasach wokół dopływu rzeki Alzette. Na przejściu zespolonym znajduje się również droga lokalna 306, dość dobrze odgradzona od powierzchni przejścia przeznaczonego dla zwierząt. Otaczający to przejście obszar leśny można, pod względem warunków biotycznych i abiotycznych, ocenić jako bardzo dobry. Natomiast na ryc. 2.20 przedstawiono przejście Nagelhof, wybudowane nad drogą B31n w Niemczech. Teren wokół przejścia ma charakter rolniczy, w związku z czym pojedyncze budynki gospodarcze nie stanowią istotnej przeszkody w migracji zwierząt polnych żyjących na tym terenie. Nieliczne zagajniki, cieki wodne i lekkie pofałdowanie terenu tworzą w sumie dobre warunki biotyczne i abiotyczne.
- D. Na ryc. 2.21 i 2.22 przedstawiono okolice dwóch przejść górnych i warunki pobliskiego krajobrazu hydrograficznego. W obu przypadkach zagospodarowanie strefy najścia na obiekt i strefy migracji, pomimo niewielkiej szerokości przejścia (do 30 m), pozwala pozytywnie ocenić przejście pod względem krajobrazu hydrograficznego.

Nie zawsze jednak, nawet uwzględniając większość czynników, uzyska się funkcjonalne przejście. Na przykład przejście, które uzyskało w przypadku wszystkich czynników analizy wielokryterialnej najwyższe oceny, przedstawione na ryc. 2.23, jest przejściem bardzo funkcjonalnym: ma doskonale struktury biotyczne i abiotyczne (ryc. 2.24), a dwa oczka wodne, znajdujące się na końcach strefy dojścia do obiektu, spełniają warunki krajobrazu hydrograficznego. Przejście ma bardzo dobrze zagospodarowane strefy migracji i prawidłowe strefy najścia, które łącznie przyczyniają się do jego funkcjonalności.

Innym przykładem jest przejście górne, wybudowane nad autostradą A75 na Florydzie, przedstawione na ryc. 2.25. Jednak trzeba podkreślić, że w ocenie środowiskowej oba przejścia uzyskały podobne opinie. Okazuje się, że przejście Landbridge Greemvay jest funkcjonalne, choć nie ma tak dobrego krajobrazu hydrograficznego, ani struktury biotycznej i abiotycznej, jak przejście przedstawione na ryc. 2.23 i 2.24, natomiast ma doskonale nakierowania na przejście [56, 239], co prawdopodobnie wpłynęło na jego pozytywną ocenę w analizie wielokryterialnej. Przejście ma szerokość 16 m, dopuszczalny jest na nim ruch pieszych, koni i oczywiście zwierząt dziko żyjących. Unikatowość konstrukcji obiektu tworzą elementy prefabrykowane przęsła w kształcie litery U. Podstawową jednak wadą przejścia, zdaniem autorki, jest gruntowa ścieżka leśna, do której prowadzą drogowaskazy, ustawione na pobliskich polanach leśnych i parkingach, informujące o przeznaczeniu obiektu ekologicznego. Drugą istotną wadą są zastosowane „duże okna” w ekranie betonowym (ryc. 2.26), przez które widać autostradę [76, 78]. Są one bowiem wykorzystywane przez ludzi do robienia sobie pamiątkowych zdjęć na tle autostrady. Ponadto ww. okna stanowią istotną barierę, gdyż przyczyniają się do zwiększenia poziomu hałasu drogowego na terenie strefy migracji.

Na ryc. 2.27 i 2.28 przedstawiono dwa obiekty, które również uzyskały dobre wyniki w analizie wielokryterialnej – mimo kontrowersyjnych opinii ekologów. Pierwsze przejście to przejście zespolone nad autostradą A2 w Szwajcarii, w pobliżu wsi Anzonico (ryc. 2.27). Analiza struktur biotycznych i abiotycznych wykazała korzystną lokalizację przejścia [17]. Bardzo korzystny jest także krajobraz hydrograficzny [17]. Na powierzchni obiektu poprowadzono dwie drogi gruntowe poprzeczne i krzywoliniowy łącznik pomiędzy nimi. Mimo tych wad przejście jest bardzo funkcjonalne.



Ryc. 2.17. Przykład zachowania ciągłości tras migracji na podwójnym przejściu wybudowanym w Szwajcarii nad linią kolejową, autostradą A1 i drogą krajową nr 1
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163]



Ryc. 2.18. Przykład dobrej lokalizacji przejścia, z uwzględnieniem istniejącej rzeźby terenu i usytuowaniem drogi w wykopie



Ryc. 2.19. Przykład połączenia warunków biotycznych i abiotycznych na przejściu górnym zespolonym (Luxemburg nad autostradą A1, w pobliżu wsi Pettingen)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.20. Przykład uwzględnienia równocześnie warunków biotycznych i abiotycznych na przejściu górnym wybudowanym na terenie rolniczym (Niemcy, droga B31n, w pobliżu wsi Bonndorf)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.21. Przykład uwzględnienia warunków krajobrazu hydrograficznego na przejściu wybudowanym we Francji nad autostradą A89, w pobliżu wsi Augère
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.22. Przykład uwzględnienia warunków krajobrazu hydrograficznego na przejściu wybudowanym w Holandii nad autostradą A73, w pobliżu wsi Waterloo Beesel
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.23. Przykład przejścia z bardzo wysoką oceną funkcjonalności oraz z wzorcowym połączeniem warunków biotycznych i krajobrazu hydrograficznego
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.24. Przykład bardzo dobrego zagospodarowania przejścia i jego zgodności z otaczającym krajobrazem
Źródło: fot. Street View [164].



Ryc. 2.25. Przykład przejścia z zapewnionymi warunkami biotycznymi i abiotycznymi oraz z dobrą oceną w analizie wielokryterialnej
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.26. Widok podstawowej wady obiektu, czyli zastosowania w ekranie betonowym „dużego okna”
Źródło: fot. Street View [164].

Przykład z ryc. 2.28 przedstawia nietypowe przejście zespolone Dolge dole, wybudowane w Słowenii nad autostradą A2, koło wsi Dolenje Kamenje. Należy podkreślić, że czasami rozwiązania oraz lokalizacje przejść zaskakują pod względem logicznym i habitatowym. Analiza warunków środowiskowych wykazała w danym przypadku potrzebę budowy dużego przejścia dla dużych zwierząt. Jednak wybudowano przejście dla zwierząt równoległe do czynnej drogi regionalnej z nawierzchnią asfaltową. Droga znajduje się pośrodku obiektu i chociaż jego szerokość wynosi 44 m, to jednak dla zwierząt pozostaje niewiele miejsca. Na północy, na skraju obiektu, znajduje się skrzyżowanie z drogą krajową nr 448, o asfaltowej nawierzchni, i skrzyżowanie skanalizowane (ryc. 2.28). Prawdopodobnie na decyzji o tej lokalizacji obiektu zaważyła presja okolicznych mieszkańców, a także konieczność budowy przejścia, jak również bardzo dobre struktury biotyczne i abiotyczne. Jednak z powodu dużych wad, tj. obecności drogi regionalnej na środku obiektu i bliskości skrzyżowania skanalizowanego z drogą krajową, funkcjonalność przejścia jest wątpliwa.

Przedstawione powyżej przykłady dość dobrze charakteryzują złożoność analizy czynników ekologicznych dotyczących warunków biotycznych, abiotycznych i krajobrazu hydrograficznego. Kolejnym krokiem analiz ekologicznych, wykonywanych **w ramach zrównoważonego projektowania i zasady efektywnej izolacji**, jest rozmieszczenie przejść habitatowych w korytarzach migracyjnych.



Ryc. 2.27. Przejście z bardzo wysoką oceną wielokryterialną i bardzo funkcjonalne pomimo lokalizacji na jego powierzchni trzech dróg i dwóch skrzyżowań
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.28. Przejście z dobrą oceną wielokryterialną, ale wzbudzające wiele wątpliwości co do jego funkcjonalności z powodu bliskiej lokalizacji skrzyżowania skanalizowanego
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

2.4. Analiza gęstości i rozmieszczenia przejść w przeciętych siedliskach

Duże koszty budowy przejść górnych uzasadniają, po pierwsze, konieczność prowadzenia skutecznych wielokryterialnych analiz środowiskowych połączonych ze sobą wzajemnie (ryc. 1.8 i 1.10). Po drugie, po określeniu korzystnej lokalizacji przejścia górnego, wymaga się w odniesieniu do nich kolejnych analiz dotyczących doboru konstrukcji, połączonych z określeniem warunków budowlanych. Trzeba pamiętać, że przejście górne mające najlepsze parametry budowlane, nawet przy bardzo bogatym zagospodarowaniu środowiskowym, przy złej lokalizacji obiektu, niepowiązanej z rzeczywistymi trasami migracyjnymi, może okazać się w konsekwencji niefunkcjonalne.

Czy są jednakowe wytyczne odnośnie do projektowania gęstości przejść i ich wielkości? Otóż nie, gdyż problem lokalizacji przejść dla zwierząt jest zależny od „[...] znaczenia przecinanego korytarza ekologicznego i istniejących uwarunkowań przyrodniczych i technicznych [...]” [121, s. 21]. Zagęszczenie i liczba przejść górnych jest ściśle uzależniona od ich znaczenia ekologicznego, a przede wszystkim od gatunku zwierząt z nich korzystających. Na przykład w jednolitym kompleksie leśnym przeciętym drogą, przy możliwości dotychczasowego przekraczania drogi przez zwierzęta tzw. szerokim frontem, zdaniem ekologów powinno się budować „[...] kilka szerokich przejść, by zapewnić przynajmniej częściowe zachowanie ciągłości rozległego biotopu [...]” [155, s. 5]. Jeśli obiekty mają się znajdować na trasie masowych migracji, to ich gęstość powinna być istotnie większa, ale to wszystko jest współzależne z kategorią obszaru chronionego, korytarzami migracyjnymi i gatunkami zwierząt korzystających z danych obiektów. Czyli jeszcze raz potwierdza się to, że chcąc uzyskać funkcjonalne przejścia dla zwierząt dziko żyjących, należy postępować zgodnie ze schematem przedstawionym na ryc. 1.8 i 1.13. Zgodnie z krajowymi wytycznymi [121] na wyznaczonych obszarach chronionych obiekty mogą być rozmieszczone na odcinku drogi od 0,5 do 2 km, w zależności od wspomnianych wyżej czynników.

Na przykład we Francji na autostradzie A36 w lasach przy granicy Francji i Niemiec, w pobliżu miejscowości Ottmarsheim, zaistniała potrzeba lokalizacji czterech mostów zielonych, zlokalizowanych w odstępach co 500 m, na długości przecinanego lasu wynoszącej ok. 2,2 km (ryc. 2.29 i 2.30). Natomiast nad autostradą A75 podłużnie przecinającą Francję na długości całej drogi, wynoszącej ok. 260 km, wybudowano także cztery mosty zielone w bardzo dużych odległościach od siebie. Z powyższych danych wynika, że konieczne jest przeprowadzenie rzetelnych analiz (zarówno ekologicznych, dotyczących głównych korytarzy migracyjnych, jak i środowiskowych, dotyczących danego siedliska) i dokładne wyznaczenie lokalizacji obiektu na trasie potwierdzone, monitoringiem ścieżek migracyjnych.



Ryc. 2.29. Przykład lokalizacji autostrady A36 w krajobrazie leśnym na trasie korytarzy migracyjnych
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.30. Przykład szczegółowej lokalizacji czterech zespolonych mostów zielonych nad autostradą A36
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Wspomniane mosty zielone we Francji należą do pierwszych górnych przejść dla zwierząt wybudowanych w Europie [28, 29, 195]. Warte podkreślenia jest to, że równoległe do autostrady zlokalizowany jest jeszcze kanał wodny. W sumie w analizowanym kompleksie leśnym wybudowano, na łącznej długości ok. 3 km, licząc od zachodu: most z kanałem rzeczny na górnym poziomie, wiadukt drogowy i przejście zespolone nad kanałem wodnym, wiadukt kolejowy i przejście nad kanałem wodnym (ryc. 2.31), a także cztery mosty zielone nad autostradą A36 i cztery mosty nad kanałem (ryc. 2.32–2.35).

Na ryc. 2.31 zwraca szczególną uwagę sposób zagospodarowania skarp przyczółków obiektów nad autostradą A36, doprowadzenie nasadzeń zieleni aż do krawędzi obu obiektów oraz zastosowanie bardzo szerokich przejść zespolonych nad kanałem (ryc. 2.31d, e). W tym przypadku bardzo istotne okazało się profesjonalne zagospodarowanie terenu i zastosowanie charakterystycznych nasadzeń pomiędzy autostradą A36 a kanałem wodnym, odgradzających teren migracji zwierząt od autostrady, a także nakierowujących je na wybudowane przejścia.

Wszystkie wybudowane nad autostradą A36 mosty zielone są konstrukcjami parabolicznymi. Są to najbardziej charakterystyczne i wzorcowe mosty zielone, najczęściej przytaczane w literaturze inżynierii ekologicznej. Warto podkreślić fakt, że na żadnym przejściu, przedstawionym na ryc. 2.32–2.35, nie zastosowano popularnej w Polsce wycinki drzew na znacznym obszarze w strefie najścia i dojścia (zob. ryc. 3.4a, 3.35, 3.47a, 3.69). W celu zilustrowania zagospodarowania najbliższego otoczenia przejść i strefy migracji, przy wyjątkowo wąskich przejściach, na ryc. 2.32–2.35 przedstawiono zdjęcia satelitarne Google Earth analizowanego obszaru w dwóch różnych porach roku – zdjęcia po lewej stronie, wykonane późną jesienią, umożliwiają dostrzeżenie detali konstrukcji obiektu, fragmentów przyczółków, wzmocnienia skarp przyczółków, a także konstrukcji ekranów drewnianych wskazujących na kształt linii naprowadzenia.

Na zdjęciach satelitarnych przedstawiono również szerokość obiektu w najwęższym miejscu. Po prawej stronie zamieszczono zdjęcia satelitarne obiektów zrobione latem, w porze największego rozkwitu zieleni. Obiekty umieszczono w kolejności od obiektu zachodniego (ryc. 2.32) do obiektu wschodniego (ryc. 2.35).

Zwraca szczególną uwagę szerokość obiektów w najwęższym miejscu. Najwęższe przejście zespolone ma szerokość 7,5 m i obejmuje również drogę o nawierzchni asfaltowej (ryc. 2.32). Dobrze dobrane nasadzenia w strefach najścia i migracji spowodowały (mimo że wybudowane obiekty są wąskie i mają ażurowe ekrany drewniane), że zwierzęta zaakceptowały wybudowane przejścia; wyniki monitoringu potwierdziły funkcjonalność wszystkich mostów [28, 29].

a) trzy obiekty nad autostradą A36 i dwa w ciągu dróg leśnych nad kanałem wodnym równoległym do autostrady



b) przejście górne wodne nad autostradą A36

c) zagospodarowanie skarp odgradzających autostradę A36 od kanału wodnego



d) zagospodarowanie skarp przy pierwszym moście zespolonym nad kanałem

e) zagospodarowanie skarp przy drugim moście zespolonym nad kanałem



Ryc. 2.31. Przykład rozmieszczenia w bliskiej odległości pięciu obiektów inżynierskich oraz zagospodarowania skarp i terenu w otoczeniu najbliższych na poszczególne obiekty (niebieska strzałka – kanał wodny, pomarańczowa strzałka – lokalizacja obiektu, zielona strzałka – zagospodarowanie skarp przy przyczółkach)

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163] oraz fot. Street View [164].



Ryc. 2.32. Pierwsze od zachodu przejście zespolone, z drogą o nawierzchni asfaltowej, wybudowane we Francji nad autostradą A36 (stan jesienią i latem)

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

a) stan zagospodarowania strefy najścia i migracji jesienią

b) stan zagospodarowania strefy najścia i migracji latem



Ryc. 2.33. Drugie od zachodu przejście górne, z drogą leśną o nawierzchni gruntowej (stan jesienią i latem), wybudowane we Francji nad autostradą A36

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

a) stan zagospodarowania strefy najścia i migracji jesienią

b) stan zagospodarowania strefy najścia i migracji latem



Ryc. 2.34. Trzecie od zachodu przejście górne, z drogą leśną o nawierzchni gruntowej (stan jesienią i latem), wybudowane we Francji nad autostradą A36

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

a) stan zagospodarowania strefy najścia i migracji jesienią



b) stan zagospodarowania strefy najścia i migracji latem



Ryc. 2.35. Czwarte od zachodu przejście górne, z drogą leśną o nawierzchni gruntowej (stan jesienią i latem), wybudowane we Francji nad autostradą A36
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Na wszystkich przejściach zastosowano nasadzenia na skarpach wykopu i pozostawiono lub uzupełniono nasadzenia w strefach najścia, odgradzając szczerlnie ewentualny obszar migracji wzdłuż istniejącego kanału wodnego. Przedstawione różne rodzaje zagospodarowania we wszystkich trzech strefach (ryc. 2.32–2.35), pomimo różnicy szerokości obiektów, przyczyniają się istotnie do dobrej funkcjonalności wszystkich mostów.

Inny wart przywołania przypadek gęstego rozmieszczenia przejść górnych nad autostradą dotyczy Austrii. W odróżnieniu od kompleksu leśnego i gęstego rozmieszczenia obiektów nad autostradą A36 we Francji jest to teren otwarty rolniczy. Niemniej jest to na tyle ważny szlak migracyjny, że na długości ok. 5 km nad autostradą A4 rozmieszczono w sumie sześć mostów krajobrazowych zespolonych i jedno przejście dolne, również zespolone (ryc. 2.36). Średni rozstaw pomiędzy osiami przejść wynosi ok. 800 m.



Ryc. 2.36. Przykład rozmieszczenia na terenach rolniczych sześciu przejść górnych zespolonych wybudowanych nad autostradą A4 w Austrii, w pobliżu wsi Friedrichshof
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Prawdopodobnie duża liczba obiektów i gęstość ich rozmieszczenia jest wynikiem analiz ekologicznych głównego szlaku migracji i analiz środowiskowych najbliższego terenu. Mosty krajobrazowe zrealizowano w tym samym czasie; wszystkie mają taką samą konstrukcję i bardzo podobny układ drogowy, co jest także

wynikiem analiz ekonomicznych. Szerokość wszystkich przejść jest równa 80 m. Tylko na jednym przejściu nawierzchnia drogi jest asfaltowa, a na pozostałych mostach drogi mają nawierzchnie gruntowe.

W cytowanym przykładzie gęstego rozmieszczenia mostów krajobrazowych zwraca szczególną uwagę zagospodarowanie terenu najścia i strefy migracji, skarp nasypu w strefie dojścia, skarp w okolicy przyczółków, zagospodarowanie najść wzdłuż naprowadzania, a także zastosowanie charakterystycznych nasadzeń na wałach ziemnych, przy krawędzi obiektu i w strefie migracji. Ponieważ przy budowie wykorzystano do zagospodarowania sadzonki nasadzeń, zamiast kilkuletnich krzewów i drzew, na ryc. 2.37 przedstawiono stan w dwóch okresach – zaraz po wybudowaniu i po 14 latach eksploatacji mostów.

a) stan zagospodarowania terenu zielenią w 2000 r.



b) stan zagospodarowania terenu zielenią w 2014 r.



Ryc. 2.37. Zmiany zagospodarowania strefy najścia i migracji w ciągu 14 lat na jednym z mostów wybudowanych nad autostradą A4 w Austrii

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Natomiast na ryc. 2.38 przedstawiono zdjęcia satelitarne wszystkich sześciu obiektów. Na wszystkich zespolonych przejściach droga została poprowadzona po stronie zachodniej i jest oddzielona wałem ziemnym od strefy migracji, o szerokości ok. 70 m, zagospodarowanej zielenią. Szerokość strefy migracji wyznaczono pomiędzy wałem ziemnym znajdującym się przy drodze a ogrodzeniem siatkowym po wschodniej stronie obiektu. Rzadkie przejazdy maszyn rolniczych mogą odbywać się po wyznaczonych drogach gruntowych i nie kolidują z przemieszczaniem się zwierząt. Na uwagę zasługuje różne zagospodarowanie powierzchni strefy migracji dostosowane do okolicy w strefach dojścia.

Analiza przytoczonych przykładów wskazuje, że o rozmieszczeniu i gęstości przejść decydują głównie znaczenie szlaku migracyjnego, dążenie do chociaż częściowego zachowania ciągłości biotopu, szczegółowa analiza ścieżek migracyjnych i wykazane w analizach środowiskowych zapotrzebowanie na budowę przejść habitatowych. W obu powyższych przypadkach, ani we Francji, ani w Austrii, w bliższej i dalszej odległości nie ma innych przejść dla zwierząt. Przedstawione na ryc. 2.30 i 2.36 rozmieszczenie obiektów habitatowych wskazuje, jak ważna była wstępna analiza ekologiczna głównych korytarzy migracyjnych na obu analizowanych obszarach.

Przedstawione powyżej przykłady nie są odosobnionymi przypadkami, np. w środowiskowej analizie szlaku migracyjnego o dużym znaczeniu regionalnym, przedstawionej przez ekolog Lindę Smitskamp [201], wykazano potrzebę dodatkowych kompensacji oraz budowy jeszcze dwóch przejść w prowincji Utrecht w Holandii, na wschodnich leśnych terenach podmiejskich. Z przeprowadzonych analiz wynika [201], że kilkanaście przejść górnych jest już wybudowanych w głównym korytarzu ekologicznym. Ponadto wybudowanych jest kilkanaście zaadaptowanych przejść wjazdowych do lasu. I mimo wszystko zachodzi potrzeba budowy jeszcze dwóch przejść górnych pomiędzy autostradą A28 a drogą N227 (ryc. 2.39). Na ryc. 2.40 przedstawiono zachodni most zielony wybudowany w niewielkim kompleksie leśnym. Należy

podkreślić, że wg najnowszych tendencji projektowych w Holandii nie stosuje się szerokiego wyrębu lasu w strefie najść; charakterystyczne jest również stosowanie wałów ziemnych i stawianie na samoistny rozwój roślinności w zagospodarowywaniu terenu (ryc. 2.41). Jednocześnie jednak w Holandii wykazuje się wyjątkową dbałość o budowę przejść nad drogą zlokalizowaną w wykopie i bardzo bogate zagospodarowanie skarp przyczółków w celu uzyskania na przejściach naturalnego klimatu siedliska.

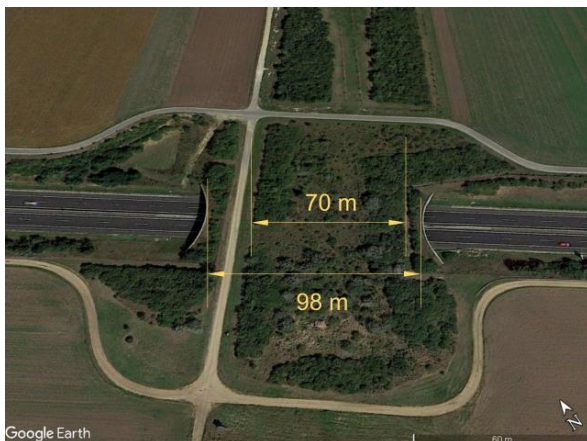
a) pierwszy most krajobrazowy



b) drugi most krajobrazowy



c) trzeci most krajobrazowy



d) czwarty most krajobrazowy



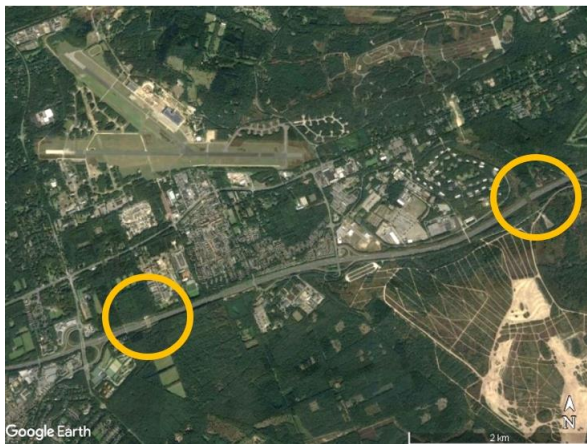
e) piąty most krajobrazowy



f) szósty most krajobrazowy



Ryc. 2.38. Zagospodarowanie strefy najścia i migracji na sześciu zespolonych mostach krajobrazowych, wybudowanych nad autostradą A4 na długości ok. 5 km, o jednakowej szerokości i konstrukcji, z bardzo podobnym układem dróg lokalnych i różnym zagospodarowaniem powierzchni mostów
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.39. Lokalizacja dodatkowych dwóch obiektów w lasach podmiejskich Utrechtu, stanowiących jeden z większych szlaków migracyjnych
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.40. Zagospodarowanie terenu zachodniego mostu zielonego wybudowanego w małym kompleksie leśnym przeciętym autostradą A28
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

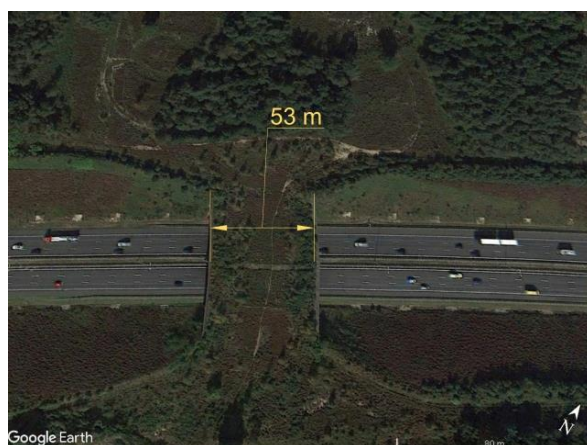
a) stan w 2006 r.



b) stan w 2009 r.



c) stan w 2016 r.



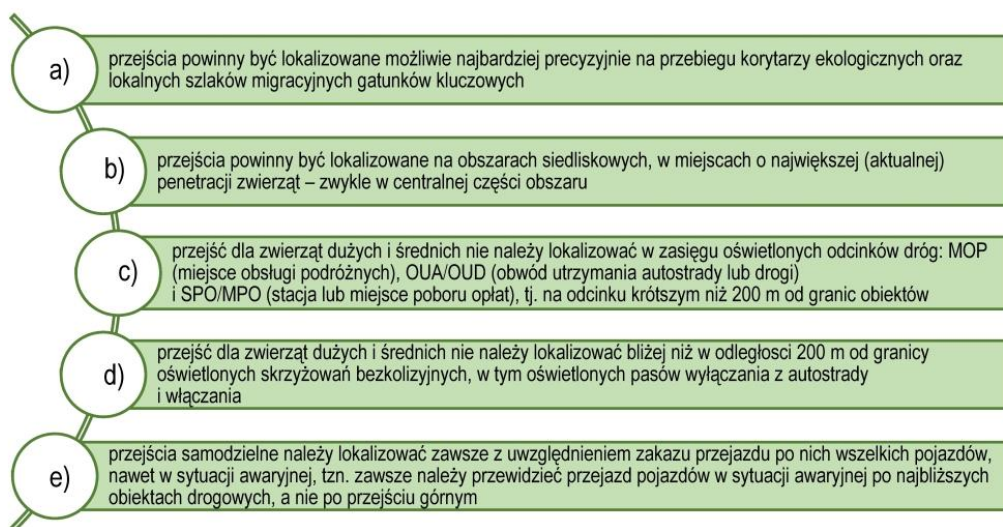
Ryc. 2.41. Przykład samoistnego rozwoju roślinności i zachodzących zmian zagospodarowania wschodniego mostu zielonego w latach: 2006, 2009 i 2016, wybudowanego nad autostradą A28 na głównym wschodnim szlaku migracyjnym w okolicy prowincji Utrecht
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.42. Przykład wybudowania 20 obiektów inżynierskich na szlaku migracyjnym, o długości 16 km, w Szwajcarii w okolicy jeziora Neuchâtel (strzałkami czerwonymi oznaczono położenie czterech tuneli, strzałkami pomarańczowymi – lokalizację dwóch mostów krajobrazowych, o szerokości 110 i 200 m, strzałkami zielonymi – lokalizację pięciu estakad, krzyżykiem różowym – położenie dziewięciu przejść dolnych zespolonych)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

2.5. Przegląd podstawowych wytycznych dotyczących szczegółowej lokalizacji przejść dla zwierząt

Zgodnie z przedstawionymi w rozdz. 2.1 etapami ustalania lokalizacji przejść dla zwierząt przy ich wyborze powinno się uwzględnić ogólne wytyczne wymienione na ryc. 2.43.



Ryc. 2.43. Ogólne wytyczne dotyczące wyboru szczegółowej lokalizacji przejść dla zwierząt
 Źródło: opracowanie graficzne na podstawie zaleceń sformułowanych w pracach [121, 148].

Komentując powyższe zalecenia, należy przeanalizować już zrealizowane rozwiązania i zapoznać się z ich funkcjonalnością. Przykład lokalizacji górnego przejścia zespolonego, zlokalizowanego w odległości ok. 250 m od MOP w Austrii (ryc. 2.44) lub w odległości ok. 200 m od MOP w Niemczech (ryc. 2.45), wskazuje, że oświetlenie odcinka drogi zastosowane przed MOP nie wpływa negatywnie na funkcjonalność przejścia. Polskie zalecenia dotyczące oświetlenia drogi znajdują potwierdzenie w zagranicznych zaleceniach zawartych w COST 341 [42]. Jednak analiza lokalizacji i funkcjonalności przejść już zrealizowanych w innych krajach wskazuje, że na ten wymóg zwraca się mniejszą uwagę, dążąc, poprzez odpowiednie zagospodarowanie strefy najścia i migracji, do minimalizacji negatywnego wpływu oświetlenia na funkcjonalność danego przejścia.



Ryc. 2.44. Przykład lokalizacji przejścia zespolonego w odległości ok. 250 m od MOP w Austrii
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163]



Ryc. 2.45. Przykład lokalizacji przejścia samodzielnego w odległości ok. 200 m od MOP w Niemczech
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Kolejnym punktem w wytycznych [121, 148] jest planowanie lokalizacji przejść w zasięgu oświetlonego odcinka drogi (ryc. 2.43 – pkt c). Warto wspomnieć o drogach w Belgii, na których system oświetlenia drogowego jest powszechnie stosowany na całej długości autostrad i dróg ekspresowych. Istniejące w Belgii przejścia znajdują się na oświetlonych fragmentach dróg i mimo tego są funkcjonalne. Przykładem funkcjonalnego przejścia, mimo oświetlenia drogi, może być jedno z wzorcowych rozwiązań habitatowych z 2005 r. nad drogą E314 w Nationaal Park Hoge Kempen (Ecoduct Kikbeek w pobliżu Maasmechelen). Zasięg rozproszonego oświetlenia obejmuje, oprócz drogi, także powierzchnię przejścia, choć samo przejście nie jest oświetlone, a zastosowane na krawędzi obiektu gęste nasadzenia krzewów i niewysokich drzew skutecznie chronią zwierzęta przed światłem drogowym. Oceny funkcjonalności przejścia są bardzo pozytywne [36, 72]; z przejścia korzystają głównie ssaki, tj. dziki, sarny, jelenie, lisy, zające, kuny i tchórze, ale także płazy i gady (żaby, jeżowce i węże). Również wiele innych belgijskich obiektów, zlokalizowanych na oświetlonych drogach, jest zaliczanych do wzorcowych rozwiązań habitatowych [4].

W wielu krajach stosuje się doświetlane obiekty, uwzględniające również komunikację zwierząt. Przykładem mogą być przejścia górne wybudowane w Słowenii i Chorwacji. Na ryc. 2.46 i 2.47 przedstawiono widok oświetlonego obiektu i oświetlenia drogowego zastosowanego we wnętrzu przejścia, zgodnie z odpowiednimi wytycznymi drogowymi. Natomiast na ryc. 2.48 przedstawiono dwa przejścia wybudowane nad autostradą A2 – jedno o szerokości 44 m, drugie o szerokości 62 m. Obydwa przejścia nie są oświetlane we wnętrzu, ale brak na górnym poziomie jakiegokolwiek osłony przeciwoślepieniowej prawdopodobnie naraża zwierzęta na oślepienie światłami reflektorów i przyczynia się do słabej funkcjonalności przejścia górnego.



Ryc. 2.46. Doświetlanie wnętrza pod przejściem górnym



Ryc. 2.47. System oświetlenia drogi pod jednym z przejść górnych



Ryc. 2.48. Przykłady dwóch wąskich mostów zielonych niedoświetlanych od spodu konstrukcji i bardzo słabo zagospodarowanych w strefie najścia i migracji



Ryc. 2.49. Trzy kolejne przejścia – od lewej: Modvedjek I (szerokość 98 m), Modvedjek (szerokość 159 m) i Dolge dole (szerokość 44 m), wybudowane w Słowenii nad autostradą A2 na długości 1,8 km
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przedstawione powyżej przypadki przejść górnych zespolonych wskazują, że nie tylko system oświetlenia dróg w pobliżu przejść nie zawsze jest optymalny. Odnotowane są też przypadki, gdy na powierzchni przejścia lub obok niego znajdują się skrzyżowania dróg nie tylko gruntowych, ale i dróg gruntowych z drogami asfaltowymi (ryc. 2.49), co nie tylko może wpływać na bardzo niską funkcjonalność przejścia, ale jest sprzeczne z podstawowymi zasadami projektowania, tym bardziej że nawet przy dużej szerokości obiektu dla zwierząt nie pozostaje zbyt wiele miejsca.

Prawdopodobnie w danym przypadku zaważyła na wskazanej lokalizacji presja okolicznych społeczności, dotycząca konieczności budowy przejścia, wiaduktu i bezpośredniego połączenia kilku zabudowań ze sobą. Na powierzchni pierwszych dwóch przejść (licząc od strony zachodniej) wybudowana jest po przekątnej obiektu droga krajowa nr 648, z nawierzchnią asfaltową, i skrzyżowanie z drogą gruntową (ryc. 2.49 – oznaczenia 1, 2), a na trzecim przejściu – droga krajowa nr 648, o nawierzchni asfaltowej, w najściu na przejście górne, gdzie krzyżuje się z drogą gruntową przechodzącą przez wąski obiekt zespolony (ryc. 2.49 – oznaczenie 3). Nawet przy założeniu, że dobowe natężenie ruchu na drodze gruntowej na obiekcie jest małe ($\leq 150 P/24h$) [116, 133, 144], obecność dróg o nawierzchni asfaltowej na terenie wszystkich obiektów może wpływać na niską funkcjonalność wszystkich trzech przejść górnych. W tym miejscu warto przytoczyć zalecenia sformułowane w publikacji [133]: „[...] droga zlokalizowana na powierzchni przejścia zespolonego musi posiadać minimalne dobowe natężenie ruchu i służyć co najwyżej do obsługi dojazdów do pojedynczych zabudowań [...]” [133, cz. II, s. 4].

Bardzo ważnym zagadnieniem jest w zrównoważonym procesie projektowania przejść przyjaznych zwierzętom planowanie w ich pobliżu innych obiektów przeznaczonych do komunikacji mieszkańców z pobliskich okolic (ryc. 2.43 – pkt e). W tym wypadku chodzi o bezkolizyjność interesów społeczności lokalnych, rozdzielonych autostradą lub drogą ekspresową, z potrzebami zachowania ciągłości ekologicznej ekosystemów. Obiekt zespolony, przeznaczony do komunikacji drogowej i zwierząt, można budować jako wspólny tylko w przypadku dobowego natężenia ruchu mniejszego niż 150 P/24h; wówczas pełni funkcję obiektu zespolonego.

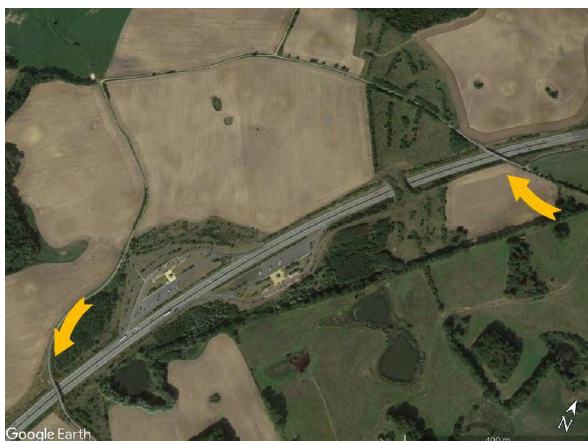
Jeśli jednak obiekt habitatowy ma zapewniać ruch mieszkańcom i zwierzętom, tak jak w przypadku trzech obiektów zespolonych przedstawionych na ryc. 2.49, to jego funkcjonalność środowiskowa w aspekcie przyjaznego przejścia dla zwierząt może być znacznie ograniczona lub po prostu zniweczona. Zgodnie z wytycznymi przedstawionymi na ryc. 2.43 najlepiej jest ze względów środowiskowych budować przejścia samodzielne, z uwzględnieniem zakazu przejazdu po nich wszelkich pojazdów, nawet w sytuacji awaryjnej. W zrównoważonym procesie planistycznym danej drogi czy autostrady projektanci zawsze powinni rozważać sytuację awaryjną w danym regionie, tzn. pożar budynków lub lasów, klęskę żywiołową, katastrofę budowlaną czy komunikacyjną itp., przewidując przejazd pojazdów uczestniczących w akcji ratunkowej po najbliższych obiektach drogowych, a nie po samodzielnym przejściu górnym, przeznaczonym tylko dla zwierząt.

Pod tym względem prawidłowo zaprojektowano przejścia górne wybudowane nad autostradą A20 w Niemczech. Jednym z najlepszych przykładów obiektów habitatowych, zapewniających przejazd komunikacyjny i awaryjne w ww. sytuacjach kryzysowych, są przejścia Barnekow (ryc. 2.50) i Köchelsdorf (ryc. 2.51), gdyż w ich pobliżu z jednej i z drugiej strony znajdują się wiadukty drogowe, po których w normalnych warunkach odbywa się komunikacja drogowa i które w sytuacji awaryjnej stanowią możliwe trasy niesienia pomocy lub trasy ewakuacji. Drogi lokalne, przeznaczone do komunikacji w pobliżu przejścia habitatowego, w obu ww. przypadkach zapewniają bezpieczne poruszanie się zwierząt w każdej sytuacji, a przejazd samochodu w sytuacji awaryjnej nie stwarza potrzeby korzystania z przejścia habitatowego. Struktury biotyczne i abiotyczne oraz krajobrazy hydrograficzne są w powyższych przykładach uwzględnione (ryc. 2.50 i 2.51). Oba przejścia spełniają zatem wszelkie warunki bardzo dobrej funkcjonalności.

Odległość krawędzi obiektu od miejsca wyjazdu z terenu MOP w przypadku przejścia Barnekow nie może być uznana za jakkolwiek wadę obiektu (ryc. 2.45 i 2.50), gdyż na obiekcie za ekranem betonowym (o wysokości 3 m) znajdują się wały ziemne (o wysokości 1,5–2 m), na których gęsto rosną rozłożyste krzewy, szczelnie odgradzając zwierzęta od światła i hałasu drogowego. Oba przejścia stanowią wzorcowe i bardzo dobrze oceniane, pod względem funkcjonalności, rozwiązania przytaczane w światowej literaturze dotyczącej inżynierii ekologicznej.

Podobnie jest z mostami krajobrazowymi wybudowanym w Niemczech (ryc. 2.52) oraz w Szwajcarii (ryc. 2.53). W obu przypadkach drogi obsługujące poprzeczny ruch drogowy znajdują się w niedalekiej odległości od mostów krajobrazowych, w związku z czym samochody nie muszą po nich właśnie przejeżdżać. Także ww. obiekty są przytaczane w literaturze zajmującej się zagadnieniami ekologicznymi oraz są uważane za wzorcowe i funkcjonalne.

Ta prosta zasada projektowania w pobliżu przejścia habitatowego obiektu przeznaczonego dla ludzi jest bardzo istotna. Jest bardzo wiele przykładów, krajowych i zagranicznych, złych rozwiązań projektowych, na podstawie których wybudowano dla zwierząt samodzielne obiekty górne czy dolne i niestety wykorzystano je przez mieszkańców okolicznych wsi. Przyczyną był brak dróg lokalnych przeznaczonych do ruchu drogowego dla miejscowych rolników [208]. Okoliczni mieszkańcy, torując sobie drogę przez przejście habitatowe, poodsuwali duże głazy stanowiące zabezpieczenie przejścia; nie były to, niestety, odosobnione przypadki. Biorąc powyższe pod uwagę, należy zawsze planować zrównoważone warunki, czyli chronić środowisko naturalne i projektować mosty dla zwierząt, zapewniając równocześnie bezpieczną komunikację okolicznym mieszkańcom.



Ryc. 2.50. Przykład dobrego planowania lokalizacji mostu zielonego na terenie rolniczym, zapewniającego komunikację po pobliskich wiaduktach drogowych
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.51. Przykład dobrej lokalizacji mostu zielonego w kompleksie leśnym, zapewniającego komunikację po pobliskich wiaduktach drogowych
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.52. Przykład dobrego planowania lokalizacji mostu krajobrazowego na terenie rolniczym, zapewniającego komunikację drogową po pobliskiej drodze
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.53. Przykład dobrej lokalizacji mostu krajobrazowego w kompleksie leśnym, zapewniającego poprzeczną komunikację drogową po wiadukcie i pod estakadą w ciągu trzech dróg lokalnych
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

2.6. Podstawowe czynniki ekologiczne doboru parametrów przejść dla zwierząt

Drugim po lokalizacji najważniejszym czynnikiem ekologicznym są parametry danego przejścia. Głównie chodzi o szerokość przejścia (w) i jego długość (l), a w przypadku przejścia dolnego – dodatkowo o wysokość przejścia pod obiektem (h). Zagadnieniem określenia minimalnych parametrów przejścia zajmowało się wielu specjalistów związanych z ochroną środowiska – zarówno krajowych, jak i zagranicznych, o czym świadczą dane przedstawione w następujących pozycjach [28, 29, 32, 42, 43, 44, 52, 74, 75, 77, 102, 111, 121, 132, 148, 152, 234, 238, 239]. Są różne możliwości rozwiązania przejścia dolnego dla małych zwierząt. Jest wiele rozwiązań poprawnych, mimo że może nie są one aż tak korzystne jak w przypadku przejścia górnego. Natomiast w korytarzach migracyjnych zwierząt średnich i dużych kluczową barierą są budowane autostrady i ciągi drogowe, które dzielą istniejące siedliska na oddzielne części (fragmentacja krajobrazu). Drogi przyjazne dla środowiska, czyli przede wszystkim przyjazne dla zwierząt, to w pierwszym rzędzie przejścia habitatowe (w ramach kompensacji przyrodniczych i procesu defragmentacji krajobrazu). Ponieważ wiele gatunków zwierząt jest pod względem akceptacji „sztucznych obiektów” bardzo zróżnicowanych, ekolodzy, mając na względzie zrównoważone projektowanie przejść

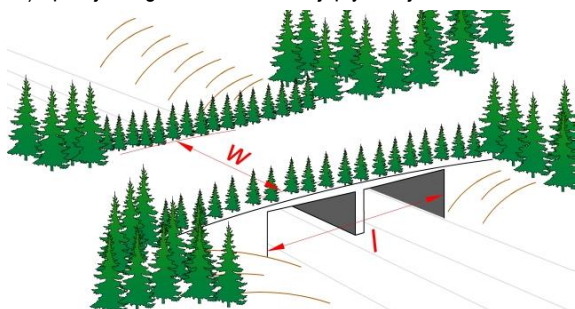
habitatowych, wprowadzili tzw. współczynnik bezwzględnej ciasnoty, mający odzwierciedlać minimalne i zalecane wymiary budowanych obiektów.

Współczynnik względnej ciasnoty w przypadku przejść górnych stanowi iloraz szerokości przejścia do jego długości (w/l), przy czym szerokość przejścia w jest mierzona wzdłuż drogi, a długość przejścia l jest równoznaczna z odcinkiem drogi, jaką musi pokonać dane zwierzę, przechodząc przez dany obiekt (ryc. 2.54a). Jednak szerokość przejścia w nie jest równa szerokości obiektu, mierzonej pomiędzy jego krawędziami, a odnosi się do faktycznej szerokości przejścia mierzonej pomiędzy ekranami, nasadzeniami lub wałami ziemnymi w największym miejscu tego przejścia. Jest to tzw. szerokość faktyczna przejścia, rozumiana jako szerokość rzeczywiście dostępna dla zwierząt. W przypadku przejść dolnych uwzględnia się jeszcze wysokość przejścia h , która nie zawsze jest równa wysokości światła obiektu (ryc. 2.54b, c, d). Przy przejściach dolnych współczynnik względnej ciasnoty oblicza się jako iloraz ww. parametrów ($w h/l$).

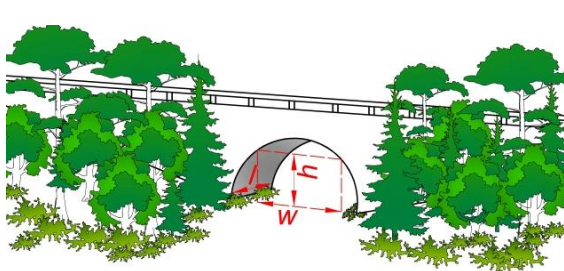
Chociaż niniejsza monografia dotyczy zrównoważonego projektowania przejść górnych, to jednak przy omawianiu czynnika ekologicznego, jakim jest współczynnik względnej ciasnoty, należy wspomnieć o parametrach przejść dolnych, gdyż w analizie wielokryterialnej rozważa się zawsze, w zależności od okoliczności, oba rodzaje przejść.

W przypadku przejść dolnych również ich szerokość mierzy się w największym miejscu. Na ryc. 2.54 przedstawiono różne przypadki konstrukcji obiektu przejścia dolnego i symbolicznie przedstawiono poszczególne wymiary brane pod uwagę przy ocenie współczynnika względnej ciasnoty. Długość l przejścia dolnego jest równoznaczna z długością odcinka drogi, jaką musi pokonać zwierzę, przechodząc przez dany obiekt. W przypadku obiektu wykonanego z blach falistych, z ukośnym zakończeniem czoła obiektu, należy uwzględnić długość faktycznego przejścia (tj. długość mierzoną wzdłuż pełnych przekrojów blach falistych), a nie górnego naziomu, lub długość mierzoną poza przejściem, np. na dole obiektu wzdłuż fundamentu i ukośnych części blach falistych. Zgodnie z polskimi wytycznymi [111·121] przy przejściach dolnych wartość minimalna współczynnika względnej ciasnoty dla dużych lub wrażliwych zwierząt wynosi $\geq 1,5$ [121, s. 29], a dla średnich i małych zwierząt $\geq 0,7$ [121, s. 29].

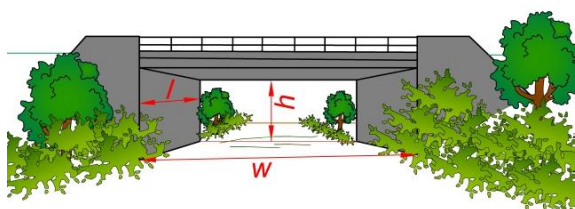
a) przejście górne o konstrukcji płytowej



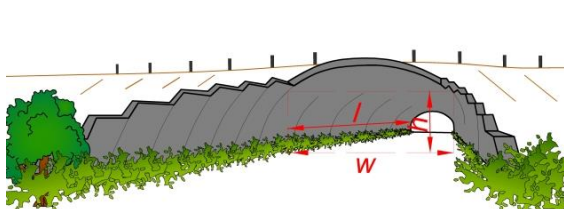
b) przejście dolne pod obiektem łukowym



c) przejście dolne o konstrukcji płytowej



d) przejście dolne wykonane z blach falistych



Ryc. 2.54. Główne parametry przejść górnych i dolnych, brane pod uwagę przy obliczaniu współczynnika względnej ciasnoty

Źródło: opracowanie graficzne ryc. c) i d) Dominik Kacprzak.

Na podstawie wyników badań, zawartych w pozycjach [36, 52, 77, 103, 121 i 239], w tab. 2.1 przedstawiono zalecane i minimalne wymiary przejść górnych. W komentarzu do tab. 2.1 warto wspomnieć o wytycznych

holenderskich [234], ponieważ w Holandii wybudowano i nadal buduje się bardzo dużo przejść dla zwierząt, a także prowadzi się liczne badania eksperymentalne w tym zakresie. Przy czym trzeba podkreślić, że wybudowane przejścia są bardzo funkcjonalne [24, 82, 230]. W wytycznych holenderskich nie ma ścisłego zalecenia odnośnie do wymiarów przejść górnych. Uwzględniając minimalne wymiary przejścia górnego, określone dla jelenia na podstawie badań amerykańskich [239], zaleca się, by miały one szerokość 40–60 m, gdyż ta szerokość umożliwia przemieszczanie się większości zwierząt. Analiza danych przedstawionych w tab. 2.1 wskazuje na różnorodność zaleceń obowiązujących w różnych krajach. Zalecane wymiary również ulegają korekcie w miarę upływu lat, wynikającej z rezultatów prowadzonych badań i obserwacji. Przykłady obliczeń wskaźnika względnej ciasnoty wskazują raczej na coś odwrotnego: jeżeli długość przejścia górnego dla dużych zwierząt wynosi np. 40 m, to jego szerokość powinna być nie mniejsza niż 32 m, a jeżeli jest to przejście dolne dla dużych zwierząt, to jego szerokość powinna być 1,5 razy większa, czyli powinna mieć minimum 60 m. Wydaje się więc słuszna teza, sformułowana w podstawowych wytycznych COST 341 [42], że „[...] wymagana szerokość przejścia zwiększa się wraz z planowaną jego długością, tj. przejście nad sześciopasową autostradą powinno być szersze niż przejście nad dwutorową linią kolejową [...]” [42, s. 14].

Tabela 2.1. Wymiary górnych przejść dla zwierząt

Typ przejścia	Użytkownik	Docelowe grupy fauny	Wielkości obiektu	
			minimalne	zalecane
Mosty krajobrazowe	dzikie zwierzęta	wszystkie zwierzęta (z wyjątkiem płazów i fauny wodnej ^{a, b}): łoś, żubr, jelen, dzik, sarna, wilk, ryś, niedźwiedź ^g	$w - 80 \text{ m}^a$ $w - 70 \text{ m}^b$ $w > 80 \text{ m}^c$ $w \geq 50 \text{ m}^g$ $w/l > 0,8^{c, f}$	— ^a $w > 100 \text{ m}^b$ $w \geq 60 \text{ m}^f$
Mosty zielone	dzikie zwierzęta	duże zwierzęta ^{a, b} : jelen, dzik, sarna ^{d, f}	$w - 20 \text{ m}^a$ $w - 40-50 \text{ m}^b$ $w - 40-50 \text{ m}^c$ $w - 12 \text{ m} - \text{jelen}^d$ $w - 10 \text{ m} - \text{sarna}^d$ $w - 7 \text{ m} - \text{dzik}^d$ $w - 10 \text{ m}^e$ $w \geq 35 \text{ m}^f$ $w/l > 0,8^{a, c, f}$	$w - 40-50 \text{ m}^a$ $w - 50-70 \text{ m}^b$ $w - 40-50 \text{ m}^c$ $w \geq 50 \text{ m}^f$ $w/l > 0,8^{c, f}$
		średnie zwierzęta	$w - 40-50 \text{ m}^c$, z dopuszczeniem, $>20 \text{ m}$ $w \geq 30 \text{ m}^f$	$w \geq 40 \text{ m}^f$
Przejścia zespolone	dzikie zwierzęta + zwierzęta gospodarskie	duże zwierzęta	$w - 10 \text{ m}^{a, b}$ $w \geq 35 \text{ m}^h$ $w/l > 0,8^a$	$w - 20-50 \text{ m}^a$ $w - 15-40 \text{ m}^b$ $w \geq 50 \text{ m}^h$
		średnie zwierzęta	$w \geq 30 \text{ m}^h$	$w \geq 40 \text{ m}^h$
Przejścia dla zwierząt nadrzecznych	dzikie zwierzęta	zwierzęta nadrzeczne żyjące w Polsce: wiewiórki, kuny, tchórze, żbiki, popielice	—	—

^a [52, tab. 3.3, s. 28]; ^b [239, rozdz. 7, pkt 7.2.1, s. 14]; ^d [111, dział 5, s. 190, 221 i 225]; ^e [179, § 58]; ^f [121, s. 23, 27–28]; ^g [121, s. 39]; ^h [121, s. 32].

Źródło: [42, 52, 103, 111, 121, 179, 239].

Holendrzy w wytycznych [234] powołują się na rezultaty badań amerykańskiego ekologa Antony Clevengera [32, 33], z których wynika, że szerokość przejścia górnego wynosząca ok. 15 m będzie zniechęcać większe zwierzęta do skorzystania z niego. Na przykład dla jelenia czy łosia ta szerokość przejścia jest niewystarczająca. Ponadto szerokość przejścia górnego ma zapewnić połączenie docelowe podzielonych siedlisk i krajobrazów. To oznacza, że szerokość przejścia musi umożliwiać samoistny rozwój roślinności i jednocześnie spełniać wymagania przejścia dla gatunku docelowego. Jeśli na powierzchni obiektu

zastosuje się nasadzenia traw, ziół i innych roślin, typu turzyce czy wrzosa, to samo przejście musi zapewnić im rozwój oraz migrację zarówno dużych, jak i małych zwierząt.

Analiza wymiarów przejść górnych podanych w tab. 2.1 wskazuje, że jeśli współczynnik względnej ciasnoty przejścia górnego jest większy niż 0,8, to przejście będzie akceptowane przez większość ssaków. Odnosząc się do ww. danych, trzeba przeanalizować kilka obiektów o innych, mniejszych, wartościach współczynnika względnej ciasnoty, np. przejście górne zespolone wybudowane w pobliżu wsi Uddevalla, nad drogą E6 w Szwecji (ryc. 2.55, 2.56).



Ryc. 2.55. Zdjęcie satelitarne krajobrazu środowiskowego wokół autostrady E6, w pobliżu mostu zielonego
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.56. Podstawowe wymiary mostu zielonego i współczynnik ciasnoty względnej
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Jak już wyżej wspomniano, nie są odosobnione przypadki adaptacji na potrzeby środowiskowe wcześniej zaprojektowanych obiektów przy budowie nowych dróg. Na przykład w Szwecji nad autostradą E6 był planowany obiekt, który miał umożliwiać dojazd do pojedynczych gospodarstw (ryc. 2.55 i 2.56). Jednak analiza środowiskowa przeprowadzona przy budowie drogi wykazała, że w najbliższej okolicy potrzebne było przejście dla dzikich zwierząt. Uwzględniając powyższe, zmieniono projekt obiektu, który początkowo miał mieć 5 m szerokości, i dostosowano go do parametrów środowiskowych (ryc. 2.57). Przejście zespolone jest dość wąskie – ma długość 50 m, szerokość w najwęższym miejscu równą 16 m, a przy przyczółkach – tylko 21 m. A jednak z monitoringu, przeprowadzonego w ramach badań środowiskowych przez Mattiasa Olssona [39, 154], wynika, że z przejścia korzystają nawet łosie (ryc. 2.58), dla których zaleca się znacznie szersze obiekty (współczynnik względnej ciasnoty analizowanego przejścia górnego wynosi $w/l = 16/50 = 0,34$). Jak wynika z opisu Mattiasa Olssona, łos nie był spłoszony, tylko powoli przechodził przez przejście.



Ryc. 2.57. Pierwszy wiadukt drogowy w Szwecji dostosowany do potrzeb łosia
Źródło: fot. Mattias Olsson [39, rys. 7.2, s. 108].



Ryc. 2.58. Zdjęcie z monitoringu łosia powoli przechodzącego przez obiekt w maju 2003 roku
Źródło: fot. Mattias Olsson [39, rys. 7.3, s. 108].

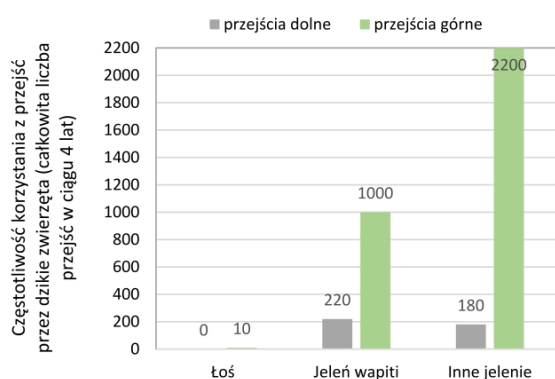
Aby ułatwić przejście zwierzętom, część przeznaczoną dla nich wykonano, pozostawiając powierzchnię gruntową, przy czym sama droga dojazdowa do posesji ma nawierzchnię asfaltową [152, 154]. Po obu stronach obiektu zastosowano nieprzezroczyste szare ekrany (o wysokości 2 m), które zmniejszają hałas drogowy i chronią zwierzęta przed światłami drogowymi. Z obu stron przejścia zastosowano naprowadzenia z nasadzeń okolicznej roślinności, doprowadzając je do krawędzi obiektu.

Istotne znaczenie ekologiczne mają też preferencje zwierząt, jeśli chodzi o wybór przejścia dolnego lub górnego. Bardzo istotne pod tym względem badania przeprowadzili ekolodzy na autostradzie transatlantyckiej w Kanadzie [74]. Badania monitoringowe prowadzono przez cztery kolejne lata; objęto nimi dwa przejścia górne (o szerokości po 52 m) i niedaleko nich (w odległości 200 m) znajdujące się jedno przejście dolne (o szerokości 7 m i wysokości 3 m). Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na ryc. 2.59. Chociaż na ryc. 2.59 przedstawiono także dane w odniesieniu do gatunków zwierząt nieżyjących w Polsce, to jednak dane dotyczące łosia, jelenia, niedźwiedzia i wilka mogą być pomocne w analizie wielokryterialnej przy podejmowaniu decyzji inwestorskich o wyborze rodzaju przejścia. Analiza przedstawionych na ryc. 2.59 wyników badań ekologów kanadyjskich wskazuje, że ww. zwierzęta preferują przejścia górne. Z komentarzy sformułowanych w odniesieniu do badań zawartych w opracowaniu [75] wynika, że „[...] zwierzęta potrzebują czasu, aby nauczyć się dopasowywać własne zachowania do istnienia przejść drogowych [...]” [75, s. 111]. Czasami na wybór i akceptację przez zwierzęta danego przejścia mają wpływ nie tylko walory krajobrazowe, wymiary przejścia, najważniejsza może okazać się aktywność ludzi w najbliższym otoczeniu oddziałująca negatywnie, nawet przy bardzo dobrze dobranej lokalizacji przejścia, pokrywającej się z korytarzami migracyjnymi, oraz przy bardzo dobrym jego zagospodarowaniu. Analiza rezultatów badań amerykańskiego ekologa Antony Clevengera [32, 33] wykazuje, że niedźwiedzie, wilki i rysie są wrażliwe na obecność człowieka w pobliżu ich ścieżek migracyjnych, w związku z czym należy w tym wypadku wyjątkowo zadbać o budowę przejścia samodzielnego i o zabezpieczenie go przed obecnością ludzi. Podobne wnioski wynikają z badań przeprowadzonych na przejściach w Holandii – im bliższe są siedziby ludzi lub drogi rolnicze, z których korzystają rolnicy, tym większy negatywny wpływ ma to na funkcjonalność przejścia [234].

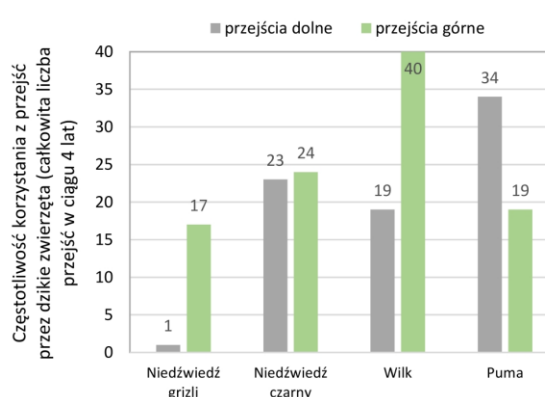
Biorąc pod uwagę dane z ryc. 2.59, można stwierdzić, że jelenie zdecydowanie częściej wybierają przejścia górne. Jednak nie zawsze są one możliwe do zbudowania w danych warunkach. Wobec czego, odnosząc się do współczynnika bezwzględnej ciasnoty, należy również przeanalizować minimalne i zalecane wymiary przejść dolnych, które zestawiono w tab. 2.2.

W holenderskich wytycznych [234] również w odniesieniu do wymiarów przejścia dolnego są podane bardzo liberalne wytyczne, gdyż zaproponowano w nich, by zastosować przy gatunku docelowym dotyczącym jelenia współczynnik względnej ciasnoty > 2 , czyli np. projektując przejście dolne o szerokości 15 m i wysokości 4 m, trzeba wziąć pod uwagę to, że maksymalna długość przejścia powinna wynosić 30 m ewentualnie do 40 m.

a) zwierzęta roślinożerne



b) drapieżniki



Ryc. 2.59. Porównanie częstotliwości wykorzystania przejść dolnych i górnych przez dzikie zwierzęta
Źródło: opracowanie graficzne na podstawie danych liczbowych przedstawionych w publikacjach [32, 75].

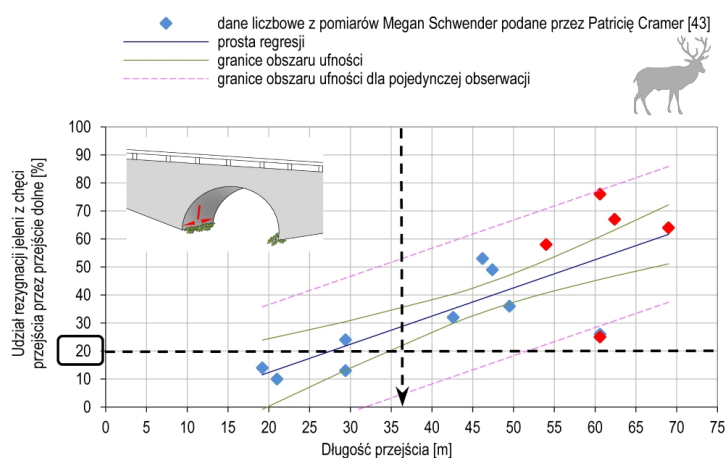
Dość istotne ze względów budowlanych i ekologicznych przy planowaniu przejścia dolnego jest przyjęcie jego podstawowych wymiarów. W większości przypadków parametry przejść dla dużych zwierząt odnosi się w literaturze światowej do przejść, z których korzystają jelenie. Biorąc powyższe pod uwagę, warto zapoznać się z wynikami badań amerykańskiej ekolog Patricii Cramer [43, 45, 186]. W raporcie z przeprowadzonych badań funkcjonalności przejść dolnych, znajdujących się w Utah, autorka ta [43] przedstawiła dane dotyczące zależności udziału procentowego rezygnacji jelenia z przejścia przez dane przejście dolne (tj. odrzucenia danego przejścia przez zwierzęta) od:

- długości danego przejścia dolnego (ryc. 2.60),
- wysokości danego przejścia dolnego (ryc. 2.61),
- szerokości danego przejścia dolnego (ryc. 2.62).

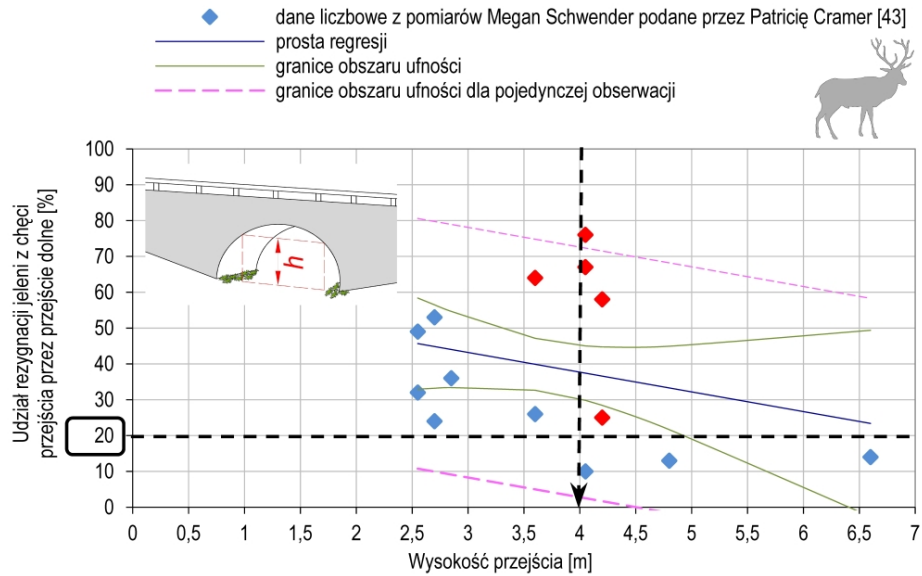
Tabela 2.2. Wymiary dolnych przejść dla zwierząt

Typ przejścia	Użytkownik	Docelowe grupy fauny	Wielkości obiektu	
			minimalne ($w h$) / l	zalecane ($w h$) / l
Przejścia zespolone	zwierzęta dzikie	wszystkie zwierzęta	—	—
Duże przejścia dolne pojedyncze	zwierzęta dzikie	duże ssaki	– dzik + sarna: $7 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}^a$ $(w h) / l > 0,75$ – jelenie: $12 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$ $(w h) / l = 0,75^a$ – przejścia duże: $15 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$ $(w h) / l = 1,5$ – przejścia średnie: $6 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ $(w h) / l \geq 0,7$ – przejścia małe: $1,5 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$ $(w h) / l \geq 0,7$ – dzik + sarna: $5 \text{ m} \times 4 \text{ m}^c$ – jelenie i danielce: $6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ przy $l = 30 \text{ m}^c$ $8 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ przy $l = 40 \text{ m}^c$ $10 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ przy $l = 50 \text{ m}^c$ – sarna i dzik: $2,5 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}^{c,d}$	$15 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}^a$ $15 \text{ m} \times 5 \text{ m}^b$ $10 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}^b$ $2,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}^b$
Wielokrotne przejścia dolne	zwierzęta dzikie + zwierzęta gospodarskie	duże ssaki	– dzik + sarna: $7 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$ $(w h) / l > 0,75$ – jelenie: $12 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$ $(w h) / l = 0,75$	$15 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$

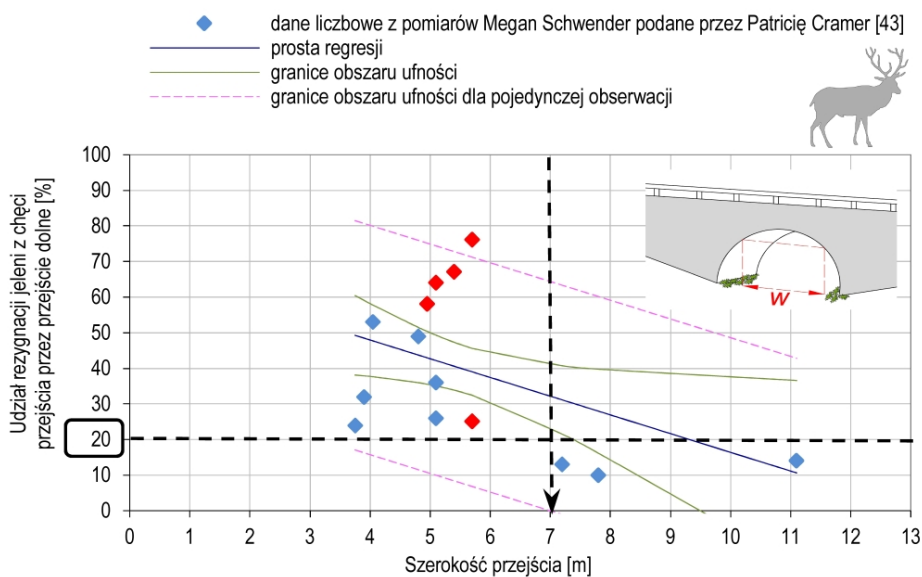
^a [52, tab. 3.4, s. 29]; ^b [121, s. 29, 30]; ^c [234, s. 93]; ^d „[...] nie oznacza to, że dany gatunek zwierząt nie skorzysta z istniejącego przejścia dolnego o wysokości 2 m, ale to mało prawdopodobne, więc jeśli jest istniejące przejście gospodarcze lub przejście dla rowerzystów, to warto go dostosować i zagospodarować odpowiednio do możliwej migracji danego gatunku zwierząt [...]” [234, s. 9].
 Źródło: [52, 121, 234].



Ryc. 2.60. Analiza regresji liniowej zależności udziału procentowego rezygnacji jeleni z przejścia od długości danego przejścia dolnego ($R = 0,75$); czerwonym rombem dodatkowo oznakowano przejścia, na których nie zastosowano ogrodzeń naprowadzających



Ryc. 2.61. Analiza regresji liniowej zależności udziału procentowego rezygnacji jeleni z przejścia od wysokości danego przejścia dolnego ($R = -0,28$); czerwonym rombem dodatkowo oznakowano przejścia, na których nie zastosowano ogrodzeń naprowadzających



Ryc. 2.62. Analiza regresji liniowej zależności udziału procentowego rezygnacji jeleni z przejścia od szerokości danego przejścia dolnego ($R = -0,46$); czerwonym rombem dodatkowo oznakowano przejścia, na których nie zastosowano ogrodzeń naprowadzających

W publikacji [43] Patricia Cramer przedstawiła dane liczbowe z kilkuletnich badań przeprowadzonych przez Megan Schwender na wybranych 14 przejściach dolnych, charakteryzujących się różnymi parametrami geometrycznymi. Analiza wyników badań dała autorkom podstawę do wyboru kilku determinant, a mianowicie wzięto pod uwagę udział procentowy rezygnacji jelenia z przejścia i trzy główne parametry geometryczne przejścia dolnego (długość, wysokość i szerokość). Jednak autorki, podsumowując swoje badania, piszą w publikacji [43], że nie powinno się rozpatrywać wykazanych zależności udziału procentowego rezygnacji jelenia z przejścia od jednego parametru geometrycznego danego przejścia dolnego (tak jak to przedstawiono na ryc. 2.60, 2.61 i 2.62), gdyż wszystkie ww. parametry geometryczne

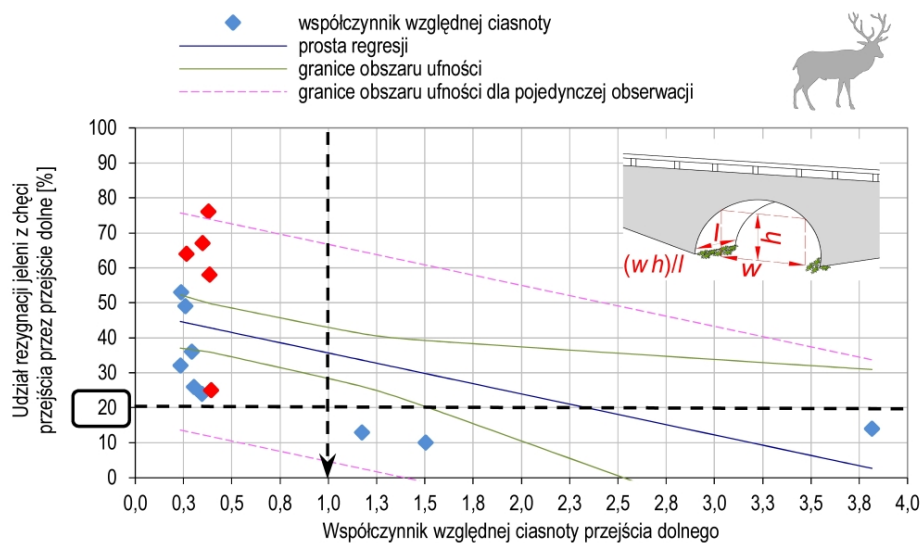
określają razem tzw. otwartość przejścia, która bezpośrednio oddziałuje na psychikę zwierząt i zachęca je, szczególnie jelenie, do skorzystania z tego przejścia. Na rezygnację jelenia z danego przejścia nie wpływa jakiś jeden szczególny parametr, bowiem do jego decyzji o rezygnacji prawdopodobnie przyczynia się otwartość danego przejścia.

Na podstawie danych liczbowych [24], zamieszczonych w raporcie [43], autorka niniejszej monografii przeprowadziła standardowe analizy statystyczne i przedstawiła graficznie na ryc. 2.60, 2.61 i 2.62 rezultaty analiz regresji udziałów procentowych rezygnacji jelenia z chęci przejścia przez dane przejście w odniesieniu do długości tego przejścia, jego wysokości i szerokości. Na wykresach analizy regresji, za pomocą czerwonych rombów, przedstawiono dodatkowo dane liczbowe dotyczące przejść dolnych, na których nie zastosowano ogrodzeń naprowadzających. To wyróżnienie może przyczynić się do lepszej interpretacji poszczególnych zasad projektowania podanych w licznych wytycznych – zarówno polskich, jak i zagranicznych.

W danym przypadku wyniki analiz statystycznych są mniej ważne; okazało się na podstawie tych kilkuletnich badań, że najważniejszym czynnikiem są wartości udziału procentowego rezygnacji jelenia z chęci przejścia przez przejście zaznaczone na osi pionowej. To parametr, który obrazuje w dużym stopniu funkcjonowanie populacji zwierząt w krajobrazie przeciętym drogą. Należy podkreślić, że uwzględnienie w analizach, dotyczących parametrów budowlanych, tylko liczebności przejść przez dane przejście znacznie uprościłoby badania, ale nie dałoby wiarygodnej informacji o oddziaływaniu barierowym na populację jelenia. Pozyskanie wiarygodnych wyników kilkuletnich badań rezygnacji z przejścia było bardzo pracochłonne i żmudne, obejmowało bowiem wielogodzinny monitoring z kilku kamer ustawionych po obu stronach tego przejścia. Z wielogodzinnych zapisów filmowych należało wyłonić tylko przypadki odrzucenia przez jelenie chęci przejścia przez dany obiekt, dlatego uwzględniając poniesiony trud obserwacji, przeprowadzonych przez Megan Schwender i Patricię Cramer, należy stwierdzić, że wyniki ich badań są niezwykle cenne. Biorąc powyższe rezultaty pod uwagę, autorki ww. oszacowały udział procentowy odrzucenia przez jelenie chęci przejścia przez dany obiekt, charakteryzując w sposób pośredni biotop, czyli przestrzeń życiową organizmów żywych. Zdaniem autorki niniejszej monografii m.in. te czynniki pozwalają na lepszą interpretację analiz i dlatego istotne było przytoczenie w niej wyników badań Patricii Cramer i Megan Schwender.

Analiza szczegółowych danych, przedstawionych na ryc. 2.60, 2.61 i 2.62, wykazała, że jelenie rezygnują z danego przejścia w mniej niż 20% przypadków, gdy jego długość jest mniejsza niż 36 m, wysokość jest większa niż 4,0 m, a szerokość – większa niż 7 m. Te wartości na odpowiednich rycinach zaznaczono czarnymi liniami jako najbardziej optymalne parametry funkcjonalnego przejścia dolnego. Jeśli chodzi o inne analizowane parametry geometryczne, jelenie rezygnowały z danego przejścia znacznie częściej, tj. w ponad 20% przypadków, gdy było ono dłuższe niż 36 m, niższe niż 4,0 m i węższe niż 7,0 m, co może świadczyć o dużym oddziaływaniu barierowym i bardzo zróżnicowanych wartościach udziału procentowego rezygnacji jeleni z takiego przejścia. Biorąc powyższe pod uwagę, autorka monografii zauważa, że dopuszczenie w analizach 20% przypadków rezygnacji jeleni z przejścia oznacza uwzględnienie w dużym stopniu negatywnego oddziaływania drogi na ich środowisko i może wskazać miarodajne wartości parametrów przejść dolnych.

Jak wynika z analizy uzyskanych wartości współczynników korelacji R , determinującym parametrem funkcjonalności i akceptacji przez zwierzęta danego przejścia dolnego jest jego długość (ryc. 2.60), gdyż współczynnik korelacji jest w danym przypadku najwyższy ($R = 0,75$), ale – jak już wyżej wspomniano – przy doborze parametrów przejścia dolnego trzeba brać pod uwagę wszystkie parametry przejścia, a nie tylko jeden z parametrów geometrycznych. Między innymi to spowodowało, że – zgodnie z wcześniejszymi komentarzami Megan Schwender i Patricii Cramer [43] – autorka niniejszej monografii wykonała jeszcze jedną analizę regresji, tym razem w odniesieniu do zależności udziału procentowego rezygnacji jeleni z przejścia od współczynnika względnej ciasnoty ($w h/l$) wyznaczonego dla wszystkich analizowanych obiektów (ryc. 2.63).



Ryc. 2.63. Analiza regresji liniowej zależności udziału procentowego rezygnacji jeleni z przejścia od współczynnika względnej ciasnoty $(wh)/l$ danego przejścia dolnego ($R = -0,52$); czerwonym rombem dodatkowo oznakowano przejścia, na których nie zastosowano ogrodzeń naprowadzających

O problemie klaustrofobii, czyli o za wąskich i za długich przejściach, pisze również polski ekolog Jan Konopka [117]. Wyniki zależności udziału procentowego rezygnacji jeleni z przejścia od poszczególnych parametrów geometrycznych danego przejścia, przedstawione na ryc. 2.60, 2.61 i 2.62, także potwierdzają cytowane wyżej spostrzeżenie Jana Konopki. W analizach zależnościowych równie ważny jest rozrzut danych w badanym zakresie. Wyniki przedstawione na powyższych wykresach wskazują, że mała część danych znajduje się w obszarze ufności, ale prawie wszystkie wyniki mieszczą się w obszarze ufności dla pojedynczej obserwacji. Tylko trzy przejścia znalazły się w przyjętym optymalnym zakresie, co stanowi poniżej 20% przypadków rezygnacji jeleni z przejścia. Biorąc pod uwagę przyjęty przez Megan Schwender i Patricję Cramer optymalny udział procentowy rezygnacji jeleni z przejścia (mniejszy niż 20%) i rozrzut punktów na wykresach, można stwierdzić, że wyniki analizy regresji mogą być niemiernodajne. W związku z tym, w celu uzyskania potwierdzenia statystycznego optymalnych wymiarów przejścia dolnego, należałoby jeszcze przeprowadzić badania dodatkowe w odniesieniu do co najmniej kilku przejść dolnych o współczynniku względnej ciasnoty większym niż 1.

Podsumowując powyższe i mając na względzie przede wszystkim dobrą funkcjonalność przejść dolnych, Megan Schwender i Patricia Cramer [44, 186] jako ostateczny rezultat przeprowadzonych badań zalecają, by długość przejścia dolnego nie była większa niż 36 m. Jeśli jest więcej pasów ruchu do przekroczenia, to powinno się stosować przęsła rozsunięte, przy czym „[...] każde z rozsuniętych przejść nie powinno być dłuższe niż 36 m [...]” [43, s. 37].

Przy rozważaniu wartości parametrów przejścia habitatowego warto również przytoczyć wyniki badań zespołu szwedzkich ekologów Matiasa Olssona i Andreasa Seilera, przedstawione na konferencji IENE w 2012 roku [153]. Autorzy ci rozważali w opisywanych badaniach inny parametr, a mianowicie wskaźnik wykorzystania przejścia przez dany gatunek zwierząt, czyli stosunek liczby stwierdzonych śladów łośa i jelenia do wszystkich śladów odnotowanych na pasie migracji zastosowanym na przejściu. Z badań funkcjonalności 92 przejść górnych i dolnych wynika, że minimalna szerokość funkcjonalna przejść dla łośa i jelenia powinna wynosić 20–24 m. Z analizy danych przedstawionych na posterze [153] wynika, że z węższych przejść zwierzęta korzystają jedynie sporadycznie. Autorzy referatu we wnioskach końcowych zalecają stosowanie szerszych przejść i poddają pod dyskusję kolejny problem przy podejmowaniu decyzji – „[...] czy funkcjonalniejsze będzie zbudowanie kilku wąskich przejść czy jednego szerszego [...]” [153, poster].

Wyznaczeniem minimalnej faktycznej szerokości przejścia górnego zajmowali się także francuscy ekolodzy. Na przykład Jean Carsignol [28] w rezultatach swoich badań podał, że na terenach rolniczych dla małych zwierząt, typu jeże i zające, minimalna faktyczna szerokość przejścia górnego może wynosić 7,5 m. Ale przejście powinno być właściwie zagospodarowane, mieć naturalne osłony przeciwhałasowe i przeciwośnieniowe, naturalne naprowadzania, a powierzchnia w strefie migracji powinna być dostosowana do migracji małych zwierząt [28, 29]. Natomiast, jeśli z przejścia na terenach rolniczych mają korzystać również sarny i daniela, to minimalna faktyczna szerokość takiego przejścia powinna być większa niż 12 m. W danym przypadku także powinno się szczególnie zadbać o zagospodarowanie zarówno strefy migracji, jak i strefy naprowadzająco-osłonowej.

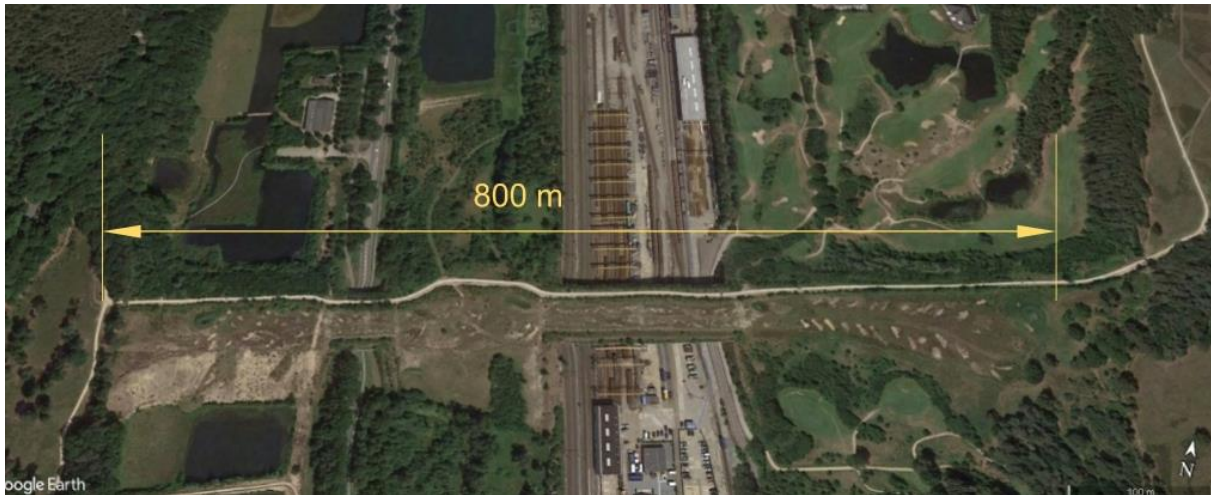
W konkluzji można stwierdzić, że problem wyznaczenia minimalnej szerokości przejścia nadal nie jest rozwiązany ostatecznie; należy jeszcze prowadzić badania, uwzględniając wiele parametrów dotyczących funkcjonalności i różnych okresów migracji. Ważne bowiem są także długość okresu monitoringu (rocznego czy kilkuletniego) oraz uwzględnienie oddziaływań barierowych, jak również czasowa i przestrzenna dynamika danego gatunku zwierząt w otaczającym środowisku.

Na koniec rozważań na temat parametrów geometrycznych przejść habitatowych przyjaznych zwierzętom warto wspomnieć o dwóch specyficznych obiektach, wybudowanych niedaleko miasta Clairoo w Holandii, charakteryzujących się innymi parametrami geometrycznymi niż zalecane (ryc. 2.53). A mianowicie o najdłuższym przejściu górnym w Europie Natuurbrug Zanderij Crailoo (o długości 800 m i szerokości 50 m) i drugim najdłuższym w Europie Ecoduct Laarderhoogt (o długości 680 m i szerokości 30–40 m).

Najdłuższe przejście górne w Europie wybudowano w 2006 r. niedaleko miasta Clairoo w Holandii. Jest to również jedno z najdłuższych przejść na świecie. Przejście górne Natuurbrug Zanderij Crailoo krzyżuje się z dwupasową drogą N524 (Naarderweg), z obustronnymi ścieżkami rowerowymi oraz linią kolejową relacji Amsterdam–Amersfoort, a także z terenem stacji postojowej i drogą lokalną Sportpark–Crailoo (ryc. 2.64 i ryc. 2.65).



Ryc. 2.64. Dwa najdłuższe przejścia w Europie, o długości 800 m i 680 m, w pobliżu Crailoo
Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 2.65. Najdłuższe przejście górne w Europie, o długości 800 m – Natuurbrug Zanderij Crailoo
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przejście znajduje się w pobliżu terenów pola golfowego i łączy obie części korytarza ekologicznego Rezerwatu Przyrody Goois [122, 139, 244]. Obiekt jest wybudowany na terenach po byłym wyeksploatowanym już kamieniołomie, który przerwał naturalne ścieżki migracyjne zwierząt żyjących w rezerwacie. Z przejścia mogą w pierwszej kolejności korzystać zwierzęta, ale wybudowana ścieżka umożliwia dostęp do przejścia również spacerowiczom i rowerzystom [122]. Jest ona dla Holendrów, miłośników ekologii, także miejscem obserwacji życia dzikich zwierząt i zajęć terenowych związanych z ekologią dla dzieci. Obszar na przejściu jest ściśle rozdzielony – dla ludzi jest pozostawiona wąska ścieżka gruntowa, oddzielona od obszaru zielonego kłodami drewnianymi i niewysokim wałem ziemnym oraz ogrodzeniem siatkowym (ryc. 2.66).

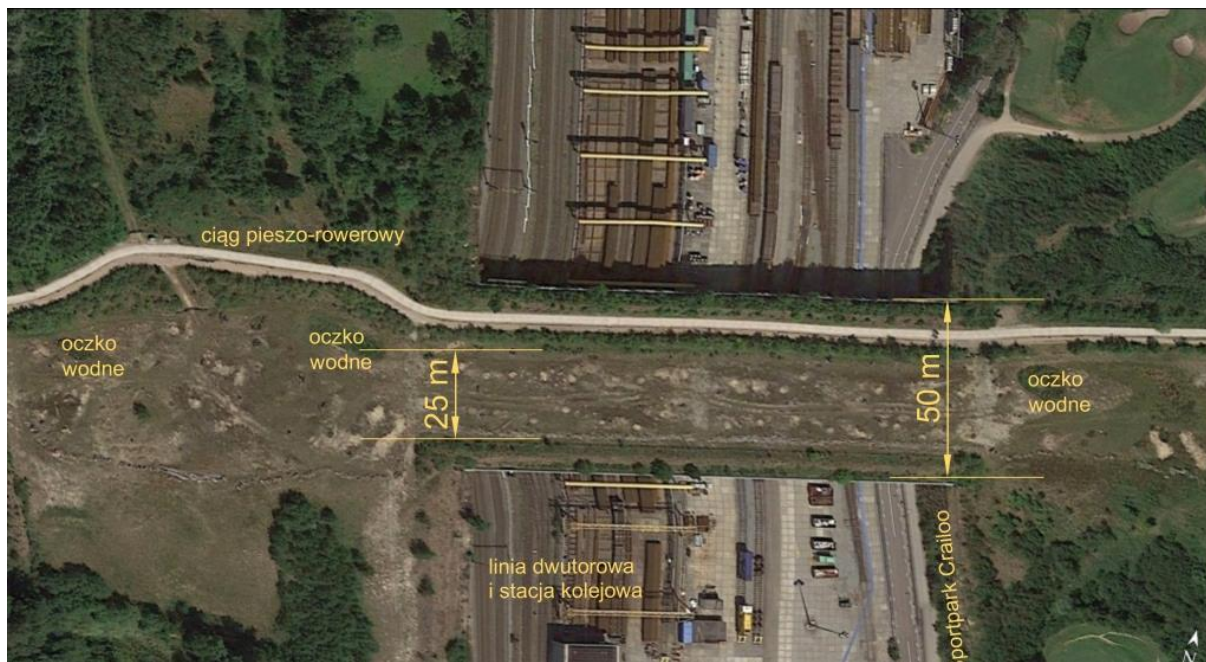


Ryc. 2.66. Najdłuższe przejście – część zachodnia nad drogą N524 (stan roślinności osiem lat po wybudowaniu)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Na wałę ziemnym posadzone są różnorodne niewysokie krzewy, które mają niewielkie wymagania. Przejście nad drogą N524 i nad stacją kolejową jest zawężone. Szerokość całkowita mierzona pomiędzy krawędziami obiektu wynosi 50 m, a przestrzeń przeznaczona tylko dla zwierząt, tj. pomiędzy ścieżką a skrajnymi wałami

ziemnymi z nasadzeniami, ma szerokość 25 m (ryc. 2.66, 2.67). Pomędzy obiektami i w najściach przestrzeń dla zwierząt jest znacznie szersza (ryc. 2.65, 2.66, 2.68).

Na krawędzi obiektu wybudowana jest tylko metalowa bariera ochronna, typowa dla obiektów inżynierskich, a zaraz za nią uformowane są wysokie wały ziemne. Przyczołek i ściany skrzydłowe obiektu wykonane są z gabionów wypełnionych grysem kamiennym o dużej frakcji. Ściany skrzydłowe już są porośnięte roślinnością, gdyż wystawione są na promieniowanie słoneczne. Pod obiektem, w zaciemnionym miejscu, gabiony nie są porośnięte roślinnością.



Ryc. 2.67. Najdłuższe przejście – część środkowa nad stacją postojową i drogą lokalną Sportpark–Crailoo (stan roślinności osiem lat po wybudowaniu)

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

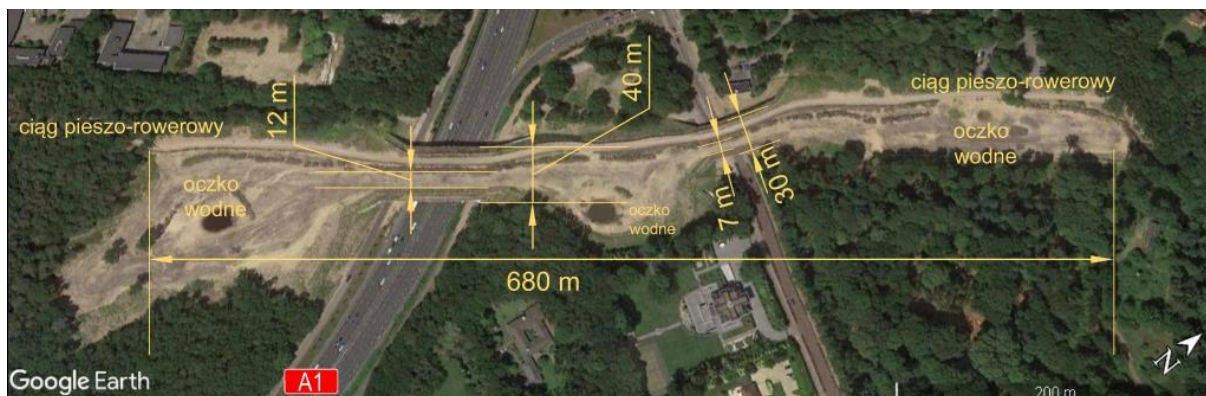


Ryc. 2.68. Najdłuższe przejście – część wschodnia i najście na obiekt z terenu starych nieczynnych kamieniołomów (stan roślinności osiem lat po wybudowaniu)

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Wzdłuż przejścia, na terenie przeznaczonym do migracji zwierząt, są rozłożone karpiny i uformowane niewielkie nieregularne wały ziemne. Tak ubogie zagospodarowanie wynika z faktu budowy przejścia na terenie byłego kamieniołomu, którego obecna powierzchnia jest uboga w zielen (ryc. 2.64 i 2.68). Ponadto na obszarze zielonym, na obiekcie przeznaczonym dla zwierząt, miejscami poprzecznie ułożono kłody drewniane, by zabezpieczyć przejście przed pojazdami mechanicznymi. Nad drogą N524 i stacją kolejową nie zastosowano żadnych ekranów, za ogrodzeniem z siatki są usypane wysokie wały ziemne, na których gęsto posadzono niewysokie krzewy. Na długości przejścia, ale poza obiektami, znajduje się kilka oczek wodnych [82, 122, 139, 140, 244].

W pobliżu Crailoo w 2014 r. wybudowano kolejne długie przejście górne, drugie z najdłuższych w Europie. Jest to przejście Ecoduct Laarderhoogt, wybudowane również w okolicy starego nieczynnego już kamieniołomu (z północnej jego strony), nad nowo wybudowaną autostradą A1 i ulicą Naarderstraat (ryc. 2.64 – po prawej stronie fotografii satelitarnej i ryc. 2.69).



Ryc. 2.69. Drugie długie przejście (680 m) – stan roślinności rok po wybudowaniu Ecoduct Laarderhoogt
Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

Przejście ma długość 680 m i znajduje się na wschodniej granicy byłych kamieniołomów [171, 231]. Oba przejścia nad autostradą A1 i ulicą Naarderstraat, stanowiące łącznie Ecoduct Laarderhoogt (ryc. 2.69), są zbudowane podobnie jak obiekty wzdłuż przejścia Natuurbrug Zanderij Crailoo, przedstawionego na ryc. 2.65. Jednak są znacznie węższe – przejście nad autostradą ma szerokość całkowitą równą 40 m, przy czym szerokość faktyczna przejścia jest równa 12 m. Drugie przejście nad ulicą Naarderstraat jest węższe – szerokość całkowita obiektu jest równa 30 m, a szerokość faktyczna przejścia wynosi 7 m. Przedstawiony na ryc. 2.69 Ecoduct Laarderhoogt ma zagospodarowanie terenu mało zróżnicowane, zgodnie z zasadą stosowaną obecnie w Holandii (zob. rozdz. 3, 4). Ścieżka rekreacyjna przeznaczona dla ludzi jest wąska (ma szerokość ok. 3 m) i jest odgrodzona od terenu przeznaczonego dla zwierząt ogrodzeniem siatkowym, niewielkim wałem ziemnym i ułożonymi karpinami.

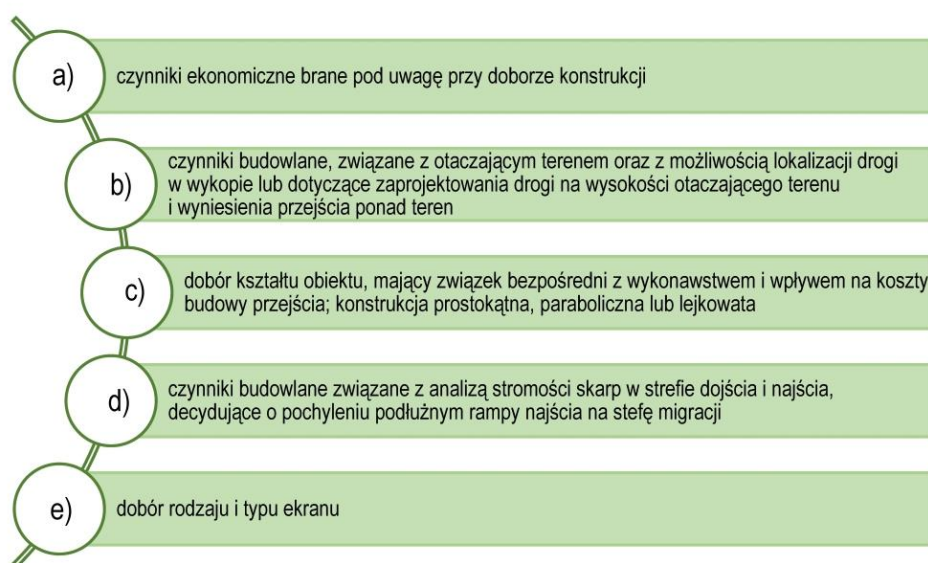
Porównując to zagospodarowanie z przedstawionym zagospodarowaniem najdłuższego przejścia w Europie (zob. ryc. 2.65), można po kilku latach potwierdzić ekspansywny rozwój roślinności na wale ziemnym i karpinach. Jednak trzeba podkreślić, że miąższość warstwy gruntu na mostach zielonych w Holandii wynosi minimum 1,5 m (zob. rozdz. 4.1) [82, 140].

W Holandii w ostatnich latach przy budowie mostów zielonych łączy się przejścia dla zwierząt z wydzieloną na obiekcie ścieżką przeznaczoną dla pieszych lub dla jeźdźców konnych; bardzo często na moście zielonym dopuszcza się także ruch rowerowy. Podobne rozdzielanie funkcji zaproponowano na przejściu Ecoduct Laarderhoogt. Początkowo w projekcie nie rozważano przystosowania ścieżki do ruchu rowerowego, jednak już w trakcie budowy firma Design & Construct, opracowująca projekt i odpowiedzialna za jego wykonanie, naniósł odpowiednie korekty i dopuściła ruch rowerowy na obiekcie, ale tylko od świtu do zmierzchu [231]. Z tego powodu rekreacyjna ścieżka rowerowa nie łączy się z ciągami ścieżek rowerowych wybudowanych na ulicy Naarderstraat; dlatego nie ma na niej oświetlenia.

3. Analiza czynników budowlanych branych pod uwagę podczas projektowania przejść górnych

3.1. Wprowadzenie

Kolejną grupą czynników, które powinny być brane pod uwagę w procesie projektowym, stanowią szeroko pojęte czynniki budowlane, mające zasadniczy wpływ przede wszystkim na: koszty własne obiektu, koszty wykonawstwa związane ze sposobem montażu, dobór lokalizacji wysokościowej przejścia względem otaczającego terenu i lokalizację drogi w wykopie, co wpływać może zasadniczo na funkcjonalność danego przejścia, oddziaływanie barierowe, wzajemną łączność siedliska podzielonego drogą itd. Kolejność potrzebnych analiz czynników budowlanych przedstawiono na ryc. 3.1.

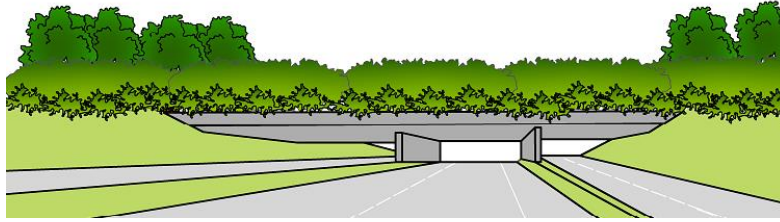


Ryc. 3.1. Schemat kolejności analiz czynników budowlanych

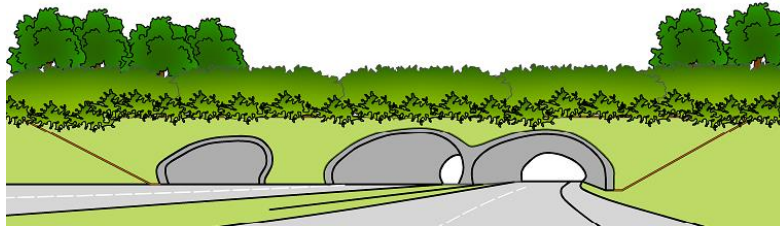
3.2. Czynniki ekonomiczne brane pod uwagę podczas doboru konstrukcji

Jednym z problemów budowlanych, rozwiązywanych przy zrównoważonym projektowaniu przejść dla zwierząt, jest dobór konstrukcji obiektu. Oprócz podstawowych wymiarów przejścia górnego, omówionych w rozdziale 2, bardzo ważny jest dobór rodzaju i typu jego konstrukcji. Według analizy kosztów opisaney w pracy [195] przejścia górne są bardzo kosztowne. Przy czym zdecydowanie droższe są konstrukcje żelbetowe (ryc. 3.2) niż konstrukcje z blach falistych (ryc. 3.3).

Konstrukcje z blach falistych są bardziej odporne na działanie ciśnienia statycznego ze względu na ciężar gleby i roślinności (ryc. 3.3–3.12). Ponadto konstrukcja z blach falistych ze względu na obły kształt zapewnia, przy powierzchni przejścia pokrytej roślinnością, lepszy system odwodnienia niż w przypadku tradycyjnych konstrukcji żelbetowych. Według szacunkowych kosztów budowa przejść górnych z zastosowaniem blach falistych jest zatem tańsza o ok. 25% [195] od budowy tradycyjnych żelbetowych konstrukcji płytowych. A ich realizacja jest znacznie krótsza.



Ryc. 3.2. Konstrukcja żelbetowa przejścia górnego
Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak.



Ryc. 3.3. Konstrukcja przejścia górnego wykonana z blach falistych
Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak.

Pomimo ww. zalet obiekty z blach falistych wykonywane są mimo wszystko rzadko. I nie zawsze są to rozwiązania korzystne ze względów ekonomicznych. Na ryc. 3.4 i 3.6 przedstawiono dwa rozwiązania, które wykorzystują prawie całą długość konstrukcji i jednocześnie zapewniają dużą szerokość użytkową samego przejścia. Na moście zielonym, wybudowanym nad autostradą A2 w Polsce (ryc. 3.4, 3.5), długość całkowita blach falistych jest równa 70 m (liczona do końca skosów), długość konstrukcji, od której zaczyna się naziem, wynosi 50 m, przy faktycznej szerokości przejścia równej 35 m. Trzeba podkreślić, że w danym przypadku wykorzystano całą długość konstrukcji do uformowania skarp, umocnienia ekranów i zapewnienia odpowiedniej szerokości strefy migracji.

a) widok przejścia z góry



b) widok krawędzi obiektu i uformowanego naziemu przejścia



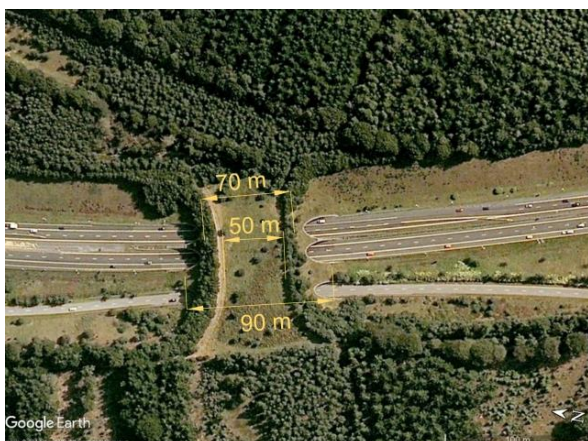
Ryc. 3.4. Różnica dwukrotna długości konstrukcji w odniesieniu do faktycznej szerokości przejścia (przejście w Polsce nad autostradą A2)

Źródło: a) zdjęcie satelitarne z Google Earth [163], b) fot. Street View [164].



Ryc. 3.5. Widok z drogi polskiego przejścia, na którym wykorzystano całą długość konstrukcji, uzyskując dużą faktyczną szerokość przejścia w strefie migracji
 Źródło: fot. Street View [164].

a) widok przejścia z góry



b) widok krawędzi obiektu i uformowanego naziumu przejścia



Ryc. 3.6. Proporcjonalne wykorzystanie długości konstrukcji i uzyskanie faktycznej szerokości przejścia równej 50 m (przykład przejścia w Holandii nad autostradą A50)
 Źródło: a) zdjęcie satelitarne z Google Earth [163], b) fot. Street View [164].



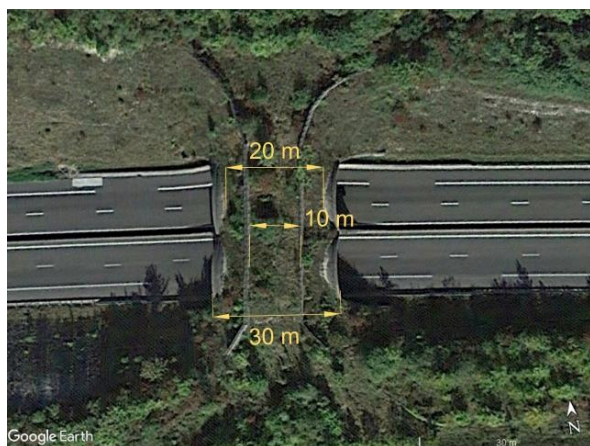
Ryc. 3.7. Widok z drogi holenderskiego przejścia, na którym wykorzystano całą długość konstrukcji, uzyskując dużą faktyczną szerokość przejścia w strefie migracji
 Źródło: fot. Street View [164].

Podobne wykorzystanie całkowitej długości konstrukcji blach falistych zastosowano na moście zielonym Woeste Hoeve, często przytaczanym jako wzorcowy w literaturze poświęconej rozwiązaniom ekologicznym

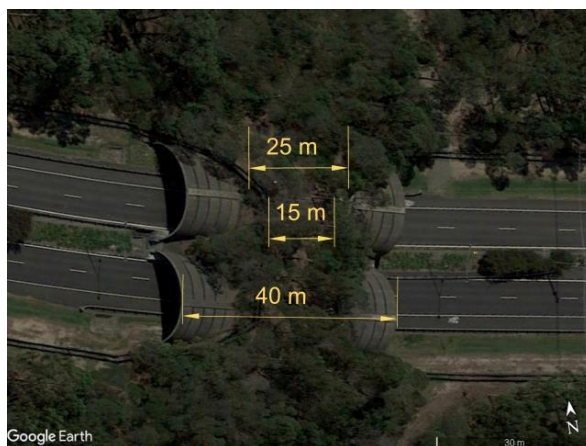
(ryc. 3.6, 3.7). W danym przypadku długość blach falistych, liczona do końca skosów, wynosi 90 m, a długość, od której formowany jest naziom, wynosi 70 m, przy faktycznej szerokości przejścia równej 50 m.

Czasami jednak obiekty wykonane z blach falistych nie są tak ekonomicznie rozwiązane, jak te przedstawione na ryc. 3.4 i 3.6. Zupełnie inne podstawowe parametry mają mosty zielone przedstawione na ryc. 3.8–3.9. Na przykład most zielony wybudowany nad autostradą A16 we Francji (ryc. 3.8, 3.12a), choć prawidłowo zagospodarowany (i mający dobre, zalecane, naprowadzenia, wpływające na funkcjonalność przejścia), ma niewielką szerokość powierzchni użytecznej przeznaczoną dla zwierząt równą tylko 10 m. Natomiast długość zastosowanych blach falistych bez ukośnych ścian skrzydłowych jest równa 30 m, co oznacza, że końce blach wystają poza właściwy obiekt, w związku z czym ta część konstrukcji jest nieużyteczna, co oznacza, że dla zwierząt przeznaczono faktycznie tylko 1/3 długości zastosowanej konstrukcji.

Podobnie jest na moście zielonym w Australii, wybudowanym nad autostradą A30 koło Brisbane (ryc. 3.9, 3.10); konstrukcja z blach falistych ma długość 40 m, a samo przejście w największym miejscu ma szerokość równą 15 m. Podobnie jest w przypadku mostu zielonego wybudowanego nad autostradą A1 w Czechach, koło Lipník nad Bečvou (ryc. 3.11); długość konstrukcji wynosi 75 m, naziom jest uformowany na szerokości 60 m, a samo przejście ma szerokość faktyczną równą 50 m.



Ryc. 3.8. Przykład proporcji charakterystycznych szerokości na wąskim przejściu we Francji
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.9. Niewykorzystana długość konstrukcji i bardzo mała faktyczna szerokość przejścia (przykład przejścia w Australii koło Brisbane)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.10. Widok z drogi australijskiego przejścia, na którym wykorzystano tylko część długości konstrukcji, uzyskując bardzo wąską faktyczną szerokość przejścia w strefie migracji
Źródło: fot. Street View [164].

Warta porównania jest także szerokość użyteczna np. mostu zielonego w Holandii (ryc. 3.6) i w Czechach (ryc. 3.11). Przy tej samej szerokości użytkowej przejścia górnego, równej 50 m, naziom na moście w Holandii zawiera w sobie również szerokość wałów ziemnych odgradzających powierzchnię przejścia od hałasu drogowego i świateł drogowych, podana zatem szerokość użyteczna przejścia, wynosząca 50 m, jest faktyczną szerokością, z jakiej mogą korzystać zwierzęta. Oprócz tego zastosowano lejkowate naprowadzenia szczelnie chroniące przejście przed hałasem, zanieczyszczeniami i światłem drogowym. Na moście w Czechach natomiast zagospodarowanie terenu zielenią dotyczy całej szerokości przejścia, a na pasie 50 m szerokości użytkowej znajduje się jeszcze droga asfaltowa i wał ziemny o szerokości 5 m. Faktyczna więc szerokość przejścia przeznaczona do migracji zwierząt jest znacznie mniejsza – wynosi tylko ok. 35 m, przy czym na tej szerokości znajduje się gęsty las.



Ryc. 3.11a. Przykładowe proporcje charakterystycznych szerokości na bardzo bogato zagospodarowanym zielenią przejściu górnym w Czechach
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.11b. Wystające czola blach falistych, bez naziomu, na moście zielonym w Czechach
Źródło: fot. Street View [164].

Podsumowując powyższe porównania i przykłady, można stwierdzić, że w procesie projektowym powinno się uwzględnić analizę przybliżonych kosztów własnych obiektu oraz kosztów wykonawczych i porównać je z wymogami ekologicznymi dotyczącymi parametrów projektowanego przejścia (ryc. 3.13). Przykłady przejść przedstawione na ryc. 3.4 i 3.6 wskazują, że w obu przypadkach wykorzystano prawie całkowicie długość konstrukcji w poziomie naziomu, jednak oba przejścia różnią się zagospodarowaniem. Zastosowanie wałów ziemnych obsadzonych krzewami na moście w Holandii (ryc. 3.6), zapewnia utrzymanie ciągłości siedliska, większą ochronę strefy migracji od hałasu, spalin i zanieczyszczeń, czyli bardziej sprzyja funkcjonalności przejścia.

Porównując pokazane na ryc. 3.12 przejście wybudowane we Francji (zob. ryc. 3.8) z przejściem wybudowanym w Australii (zob. ryc. 3.9), można stwierdzić, że oba mosty różnią się przede wszystkim kształtem naprowadzeń i ich lokalizacją, przy podobnej grubości naziomu. Przejście przedstawione na ryc. 3.8 ma naprowadzenia o kształcie parabolicznym wykonane poza samą konstrukcją, co oznacza, że mogą one być „szczelniej” i „bogaciej” zagospodarowane zielenią, tworząc na niewielkiej faktycznej szerokości przejścia przedłużenie siedliska i właściwy mikroklimat w strefie migracji. Natomiast przejście przedstawione na ryc. 3.9 ma paraboliczne najścia, które kończą się nad pasem dzielącym obie jezdnie. Gdyby projektanci paraboliczne najścia zastosowali poza obszarem konstrukcji i jezdni, podobnie jak we Francji, na długości przejścia można by, przy zastosowanej długości konstrukcji równej 40 m, uzyskać faktyczną szerokość przejścia wynoszącą co najmniej 30 m, zapewniającą jego lepszą funkcjonalność. W zastosowanym rozwiązaniu wybudowana konstrukcja ma niewykorzystaną długość blach falistych, wynoszącą 12,25 m po każdej stronie przejścia.

a) przejście we Francji nad autostradą A16



b) przejście w Australii nad autostradą A30



Ryc. 3.12. Porównanie widoku krawędzi obiektu i uformowanego naziemu wybudowanych wąskich przejść we Francji i w Australii

Źródło: fot. Street View [163].



Ryc. 3.13. Podstawowe parametry związane z procesem doboru konstrukcji projektowanego obiektu

3.3. Podstawowe czynniki budowlane przejść górnych

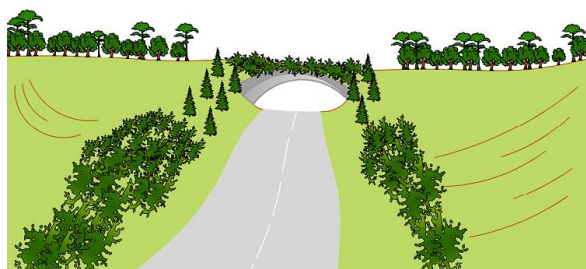
Podczas projektowania przejść górnych trzeba zadbać o pogodzenie warunków ekologicznych z czynnikami ekonomicznymi (ryc. 3.14–3.19), które określa się m.in. głównie na podstawie projektów budowlanych. Koszty budowy i utrzymania przejść górnych w dużym stopniu związane są z wymiarami danego przejścia (ryc. 3.19).

Najlepszym rozwiązaniem lokalizowania górnych przejść są odcinki dróg znajdujące się w wykopie (ryc. 3.14–3.16), gdyż ogranicza się w ten sposób wymiary budowanych obiektów, co stanowi jednocześnie bardzo ważny czynnik ekonomiczny. Według zaleceń wielu ekologów (i na podstawie obserwacji wielu wybudowanych już obiektów) należy zadbać podczas budowy przejścia górnego dla zwierząt o to, żeby na całej długości ich ścieżki migracyjnej nie było żadnej różnicy wysokościowej (ryc. 3.16). Przy budowie przejścia górnego na płaskim terenie, przy jego wyniesieniu ponad otaczającą powierzchnię środowiska, uzyskuje się „sztuczny” i „obcy” element (ryc. 3.17–3.18), zmuszający zwierzęta do wchodzenia pod górę. Według opinii ekologów [80, 84, 100, 104, 121, 138, 201, 222] zwierzęta, nie widząc lasu czy przedłużenia naturalnego siedliska po drugiej stronie przejścia (ryc. 3.17b, 3.18), z tego przejścia nie korzystają. Ten

warunek dostrzegania przez większe zwierzęta przedłużenia siedliska po drugiej stronie przejścia wpływa pozytywnie na funkcjonalność danego przejścia [41, 81, 117, 239].



Ryc. 3.14. Zalecana niweleta przejścia górnego skonfigurowana w łuku pionowym wklęsłym
Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak.



Ryc. 3.15. Dopuszczalna niweleta przejścia górnego przy niewielkim pochyleniu lub poziomym terenie wzdłuż przejścia
Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak.



Ryc. 3.16. Zwierzęta, korzystając z przejścia górnego wybudowanego nad drogą zlokalizowaną w niewielkim wykopie (zob. ryc. 3.14 i 3.15), widzą przedłużenie naturalnego środowiska po drugiej stronie tego przejścia, w związku z czym szybciej dane przejście zaakceptują



Ryc. 3.17a. Niezalecana niweleta przejścia górnego wyniesiona ponad otaczający teren i skonfigurowana w łuku pionowym wypukłym
Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak.



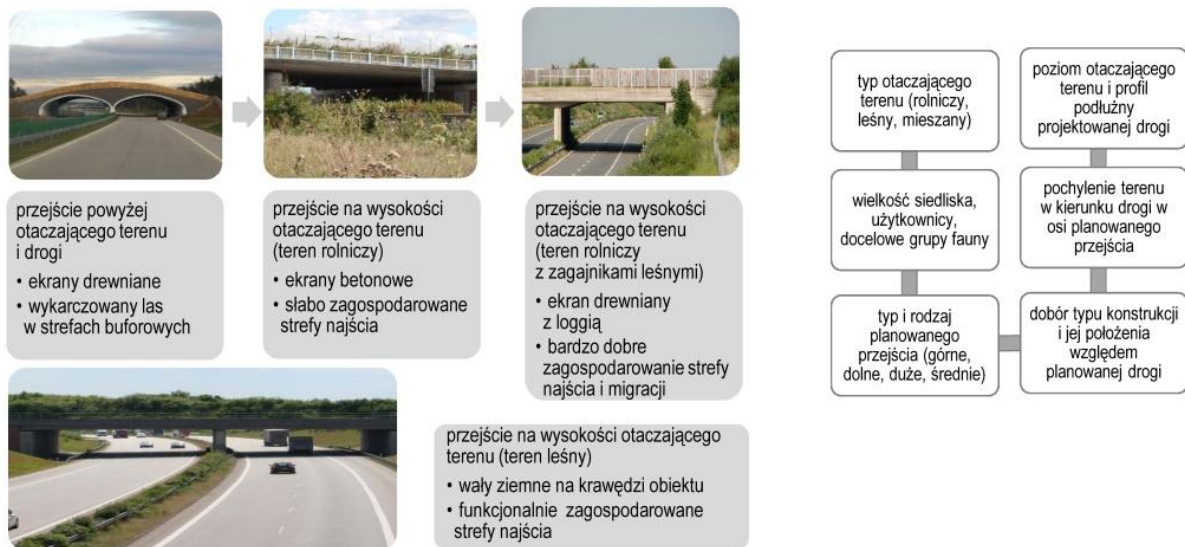
Ryc. 3.17b. Przy zastosowaniu obiektu wyniesionego ponad teren (zob. ryc. 3.17a) zwierzęta nie widzą po drugiej stronie przejścia przedłużenia naturalnego siedliska, co może negatywnie wpływać na jego funkcjonalność

Do głównych elementów przejścia należą najścia, które wg wielu wytycznych powinny być łagodne. Strone najścia są dopuszczalne tylko na terenach górskich. W opracowaniu [81] na podstawie wielu analiz funkcjonalności istniejących przejść oraz wyników monitoringu, wykonanego osobno dla różnych gatunków zwierząt, stwierdzono, że w ww. przypadkach pochylenie podłużne kierujące zwierzęta na wyższy poziom, niż teren otaczający przejście, powinno być stopniowane. Jednocześnie stwierdzono, że nie przeprowadzono badań świadczących o tym, że przejścia takie, jak te przedstawione na ryc. 3.17, mają negatywny wpływ na funkcjonalność obiektu. Jednak wszyscy ekolodzy zgodnie podają, że przy tego typu przejściach należy unikać efektu tak zwanego stożka (ryc. 3.17). Zalecane w większości wytycznych

zagranicznych i stosowane pochylenia podłużne w strefie najścia na większości przejść górnych wahają się w granicach 0–5%; wyjątkowo i tylko na terenach górskich pochylenie podłużne najścia może wynosić ponad 10% [81]. Natomiast obecnie w Polsce [121] dopuszczalne maksymalne pochylenie podłużne najścia na obiekt wynosi 15%; dawniej wg zaleceń zawartych w katalogu [111] wynosiło ono 8%.



Ryc. 3.18. Przykład przejścia wyniesionego ponad teren i autostradę – brak widoku siedliska po drugiej stronie przejścia
Źródło: fot. Radosław Madej [134].



Ryc. 3.19. Możliwe czynniki analizowane w procesie projektowym przejścia, związane z poziomem najbliższego otoczenia i drogi oraz zalecana procedura ich analizy

Wnikliwą analizę pochylenia podłużnego najść przedstawiono w publikacji [81], podkreślając, że najlepszym i najkorzystniejszym rozwiązaniem jest planowanie powierzchni przejścia dla zwierząt na tym samym poziomie co otaczający teren, czyli projektowanie drogi lub autostrady w wykopie. Jednak w praktyce nie zawsze jest to do zrealizowania; ponieważ należy stosować najścia na przejście o pochyleniu w granicach 5–10%, które są akceptowane przez większość gatunków zwierząt [81].

Z analizy parametrów przejść górnych wybudowanych w Europie wynika, że większość z nich ma pochylenie podłużne najść w granicach 0–5%; jedynie przejścia na terenach górskich w Szwajcarii i Austrii mają pochylenie >10%. Według danych przedstawionych w pracy [81] rzadko na nich potwierdzano przejścia jeleni i dzików, natomiast odnotowywano liczne przejścia saren, lisów i zajęców. Z analiz przejść górnych

spoza Europy, zlokalizowanych głównie w Kanadzie, wynika, że na przejściach samodzielnych o pochyleniu najścia wynoszącym 10% potwierdzono korzystanie z nich przez niedźwiedzie grizzly, czarne niedźwiedzie, wilki, pумы, łosie, jelenie i kojoty, przy czym – co jest ważne – monitoring potwierdzał korzystanie z przejść również w ciągu dnia [34]. Jednak trzeba podkreślić, że przejścia górne w Kanadzie są zlokalizowane daleko od siedzib ludzkich, przy czym są to są przejścia samodzielne, zlokalizowane na potwierdzonych trasach migracji zwierząt i w większości przypadków budowane w miejscach, gdzie odcinek autostrady jest najkrótszy. Natomiast w wytycznych holenderskich [234] zaleca się stosowanie pochylenia nieprzekraczającego wartości 1 : 15 ($\approx 7\%$). Jednak podkreśla się, że to nie zawsze jest możliwe, w związku z czym trzeba uwzględnić fakt, że pochylenie podłużne najścia na obiekt równe 10% może być stosowane jedynie na bardzo cichych, niezakłóconych, obszarach i że to jest maksymalne pochylenie podłużne najścia dla jelenia.

Chronologiczne zestawienie kształtowania się zmian minimalnych i zalecanych szerokości przejść górnych na przestrzeni lat przedstawiono w pozycji [81]. Z analizy zestawienia zmian zaleceń dotyczących podstawowych wymiarów przejść górnych wynika, że już w najstarszych podręcznikach ekologicznych zalecano budowanie samodzielnych konstrukcji o kształcie parabolicznym, znajdujących się na poziomie istniejącego terenu, z łagodnymi pochyleniami podłużnymi w obrębie najść, przy najważniejszym zaleceniu projektowania przekraczanej drogi w wykopie.

Największym zmianom podlegała na przestrzeni lat zalecana szerokość przejścia – zarówno dla średnich, jak i dużych zwierząt. Pierwsze zalecenia wprowadzały możliwą migrację dużych zwierząt na przejściach o szerokości 8–15 m, a przy łączeniu ekosystemów zalecana była szerokość > 50 m. Pod koniec XX w. i na początku XXI w. w niektórych podręcznikach ekologicznych zalecano już szersze obiekty i wprowadzono pojęcie mostów krajobrazowych o szerokości kilkuset metrów [138, 118].

Na początku XXI w. podano zalecane szerokości przejść, z których miały korzystać jelenie [90]. W zaleceniach pojawiały się również teorie ekologiczne dotyczące zagospodarowania powierzchni najścia i przejścia, które sprowadzały się do poglądu, że korzystne jest jej zagospodarowanie podobne do otoczenia budowanych mostów, by zwierzęta traktowały przejście jako przedłużenie siedliska [86].

W 2003 r. europejscy ekolodzy opracowali wspólne wytyczne, na podstawie doświadczeń, obserwacji, analiz wyników monitoringów, przeprowadzonych na istniejących przejściach COST 341 [42], w których zalecono standardową szerokość mostu zielonego równą 40–50 m, a w przypadku mostu krajobrazowego – większą niż 80 m; przeanalizowano także kształt powierzchni przejść górnych, dopuszczając mniejsze szerokości, ale wyłącznie wówczas, gdy z obiektu będą korzystać gatunki zwierząt „niewrażliwe na szerokość”. Jeszcze raz w wytycznych COST 341 [42] zalecono budowanie nowych przejść górnych na poziomie okolicznego terenu i stosowanie niezbyt stromych obustronnych najść.

Na podstawie doświadczeń i monitoringu przeprowadzonego na europejskich przejściach w wytycznych [239] z 2011 r. podano nieznacznie większe wartości minimalnych i zalecanych szerokości przejść górnych, a mianowicie w odniesieniu do mostów krajobrazowych minimalna szerokość powinna wynosić 70 m, a zalecana >100 m. Natomiast w odniesieniu do mostów zielonych minimalna szerokość przejścia powinna wynosić 40–50 m, a zalecana – 50–70 m. Z analizy istniejących mostów opisanych w niniejszej monografii wynika, że większość mostów zielonych wybudowanych w Europie ma szerokość przejścia w granicach 40–70 m.

Na podstawie analizy dotychczasowych rozwiązań w COST 341 [42] zalecono stosowanie przejść samodzielnych jako bardziej funkcjonalnych, przy dopuszczeniu jednak budowy przejść zespolonych, ale tylko w przypadku małego natężenia ruchu pieszych lub pojazdów. Pojawiło się także nowe ważne zalecenie, żeby podczas projektowania przejść zespolonych ich szerokość przeznaczoną dla zwierząt powiększać o szerokość drogi przeznaczonej dla pieszych lub pojazdów [42].

W odniesieniu do powyższych analiz, zaleceń i komentarzy należałoby przeanalizować przykładowe mosty zielone wybudowane nad polską autostradą A4 (ryc. 3.20) i niemiecką autostradą A20 (ryc. 3.22). W obu

przypadkach autostrady wybudowane są na równym poziomie z otaczającym terenem, przy czym przejście dla zwierząt wybudowano na górnym poziomie. Zwierzęta, wychodząc z lasu, przy lokalizacji przejścia na górnym poziomie muszą pokonać dużą różnicę wysokości, nie widząc po drugiej stronie tego przejścia lasu i siedliska, dostrzegając jedynie wierzchołki drzew i niebo.

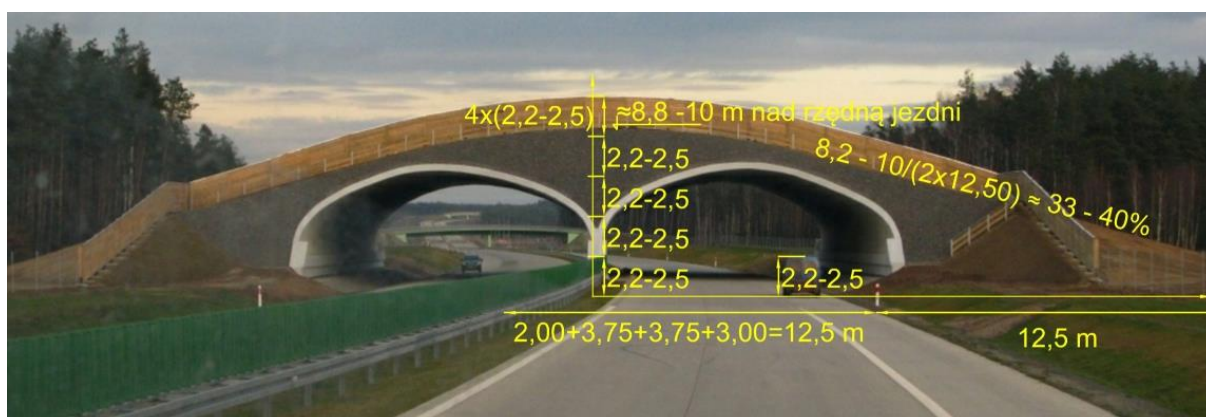
Powyższe rozwiązania wymagają bardzo łagodnych najść o parabolicznym kształcie, gęsto obsadzonych krzewami i drzewami wzdłuż ekranów i ogrodzeń naprowadzających. W przypadku polskiej autostrady A4 i dodatkowej lokalizacji przejścia na krzywiźnie poziomej jest to rozwiązanie bardzo niekorzystne, gdyż zastosowany ekran drewniany, na długości 50 m, wybudowany równoległe do krawędzi drogi, nie zasłania światła drogowych docierających z autostrady i nie chroni przed hałasem drogowym. Zwierzęta muszą przejść na drugą stronę obiektu prawie na wysokości korony drzew (ryc. 3.21), widząc w miejscu dojścia do obiektu światła drogowe i słysząc hałas drogowy. Analiza powyższych negatywnych czynników wskazuje, że są to warunki niesprzyjające dobrej funkcjonalności przejścia. Hałas drogowy odbity od ściany lasu jest kierowany zarówno na najścia, jak i przejście, co nie stwarza przyjaznych warunków środowiskowych dla zwierząt, za to powoduje ich płoszenie.

Analiza porównawcza poziomu terenu i obiektu, przedstawiona na ryc. 3.21, wykazuje, że różnica wysokości wynosi ≈ 10 m. Pas dzielący ma szerokość 4 m, pasy ruchu na autostradzie A4 mają szerokość 3,75 m, a pas awaryjny ma 3 m, co w sumie daje odcinek, liczony od osi pasa dzielącego:

$$0,5 \cdot 4 \text{ m} + 3,75 \text{ m} + 3,75 \text{ m} + 3,0 \text{ m} = 12,5 \text{ m}$$



Ryc. 3.20. Przejście górne nad autostradą A4 w Polsce



Ryc. 3.21. Różnica wysokości rzędnej jezdni i przejścia dla zwierząt



Ryc. 3.22. Widok otwartej przestrzeni na dojeździe do obiektu (autostrada A20 w Niemczech)

Po odmierzeniu jeszcze raz takiego samego odcinka, równego 12,5 m, w stronę pobliskiego lasu, jak to wynika z proporcji najścia przedstawionego na ryc. 3.21, ostatecznie otrzymuje się pochylenie najścia na obiekt wynoszące $(8,8-10)/25 = 33-40\%$. Tymczasem maksymalne dopuszczalne, określone przez polskich ekologów, pochylenie najścia nie może przekroczyć 15% [121], a przy obowiązujących podczas budowy obiektu w 2007 r. zaleceniach – 8% [111]. Podsumowując przedstawiony na ryc. 3.20 i 3.21 przypadek, należy stwierdzić, że pochylenie podłużne najścia przekracza pięciokrotnie dopuszczalne wartości podane w katalogu [111].

W danym przypadku nawet bardzo dobra lokalizacja obiektu na ścieżce migracyjnej (przy braku naprowadzeń od strony lasu po obu stronach przejścia, a także przy krótkim ekranie usytuowanym nie pod kątem 45° , a równoległe do krawędzi drogi), przy zastosowanej stromości najścia oraz dużej różnicy wysokości, stwarza bardzo niekorzystne warunki środowiskowe, a kompilacja ww. nieprawidłowości może w sposób determinujący obniżyć funkcjonalność tego obiektu.

Podobnie spostrzeżenia można sformułować w przypadku mostu zielonego wybudowanego w Niemczech, przedstawionego na ryc. 3.22. Zwierzęta wychodząc z pobliskiego lasu, znajdują się na tym samym poziomie co autostrada A20, są oślepiane światłami drogowymi i widzą ruch drogowy (zob. oznaczenie pomarańczowym prostokątem na ryc. 3.22). Poziom hałas drogowy w pobliskim rzadkim lesie wynosi ok. 55 dB(A), a przy wyjściu z niego, na niczym nieosłonięty teren pól uprawnych otaczających autostradę, znacznie wzrasta – do 65 dB(A) i 83 dB(A) bezpośrednio przy autostradzie [212], gdyż nie ma żadnej bariery osłonowej pomiędzy pasem drogowym a polami uprawnymi (ryc. 3.23a). Przejście górne jest wyniesione ponad otaczający teren i autostradę i jest oddalone od najbliższej krawędzi lasu o 175 m. Brak na tej przestrzeni uformowanych najść na obiekt i jakichkolwiek ogrodzeń lub naprowadzeń (zagajników) powoduje, że propagacja hałasu jest niczym niezakłócona i stanowi jedną z najważniejszych barier dla zwierząt (ryc. 3.23b). Zastosowane rzadkie nasadzenia na skarpach i przyczółkach obiektu (rys. 3.24) oraz słabo osłonięty roślinnością ekran betonowy nie stwarzają zwierzętom przyjaznych warunków do korzystania z przejścia. Ewidentną wadą w danym przypadku jest brak odpowiednich naprowadzeń na obiekt, odgradzających zwierzęta od autostrady. A niezagospodarowanie terenu wokół przejścia i wyniesienie go ponad otaczający teren sprawia, że zwierzęta nad przejściem nie widzą roślinności i siedliska po drugiej stronie tego przejścia, widzą jedynie niebo (ryc. 3.25), co jest jednym z głównych czynników antropopresji na danym przejściu. W trakcie licznych wizji lokalnych, przeprowadzonych w latach 2006–2012 w okresie letnim, autorka nie stwierdziła jakichkolwiek śladów bytności zwierząt w pobliżu omawianego przejścia – ani na powierzchni najść, ani na samym obiekcie [205]. Jedyнным wyraźnym śladem były odciski wgniecionych opon motocykli (ryc. 3.25), co świadczy o tym, że okoliczni mieszkańcy skracali sobie drogę pomiędzy wsiami.

a) otoczenie przejścia – 175 m od przejścia na północy znajduje się kompleks leśny



b) przejście górne zlokalizowane nad autostradą i otaczającym terenem



Ryc. 3.23. Przykład otoczenia przejścia wyniesionego ponad teren (czynniki negatywne stanowiące dużą barierę dla zwierząt: brak widoczności siedliska po przeciwnej stronie obiektu, widok świateł drogowych, hałas drogowy, brak naprowadzenia na przejście, ekran wybudowany tylko na długości obiektu)

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

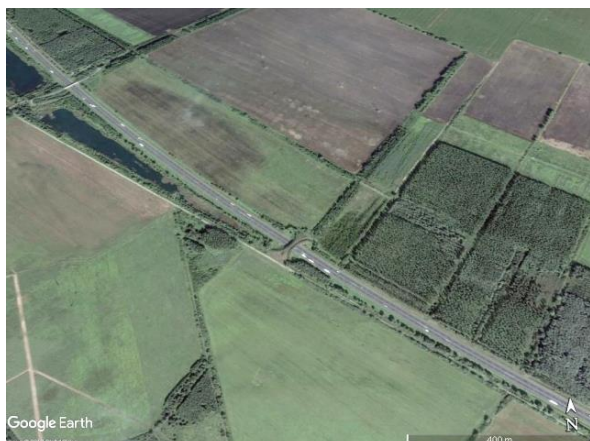


Ryc. 3.24. Rzadkie nasadzenia na skarpie przyczółku nietłumiące hałasu drogowego



Ryc. 3.25. Widok przejścia przy najściu i brak widoczności siedliska po drugiej stronie przejścia

Jednak nie zawsze wybudowane obiekty mają wady wymienione powyżej. Całkowitym przeciwieństwem do opisanych przejść jest most zielony wybudowany na Węgrzech (ryc. 3.26–3.27). Obiekt, dzięki łagodnym i dobrze zagospodarowanym najściom, tworzy spójną całość z otaczającym go środowiskiem leśnym (ryc. 3.26). Zwraca szczególną uwagę bardzo dobre rozwiązanie najść (ryc. 3.27). Wzdłuż najścia i krawędzi obiektu zastosowane są niewysokie wały ziemne, gęsto obsadzone krzewami. Pośrodku najścia, w okolicy przyczółków, wprowadzono małe nieregularne zagajniki. Od strony północnej, tj. od strony pól uprawnych, najście na obiekt jest również obsadzone kilkoma krzewami i drzewami, które odgrywają też rolę naprowadzającą. Te nasadzenia spełniają swoją funkcję, gdyż zwierzęta wychodzące z lasu są naprowadzane od razu na obiekt. Tylko od strony południowej najście na obiekt kończy się na krawędzi naturalnej części lasu i jest otwarte od strony pól uprawnych (ryc. 3.27). Zastosowane zagospodarowanie jest naturalne, chroni zwierzęta przed hałasem drogowym i oślepianiem światłami drogowymi (ryc. 3.27), co prawdopodobnie przyczynia się do bardzo dobrej funkcjonalności przejścia.



Ryc. 3.26. Krajobraz środowiskowy po obu stronach autostrady w pobliżu przejścia (Węgry)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.27. Widok zagospodarowania terenu przejścia i integracji z otaczającym krajobrazem
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

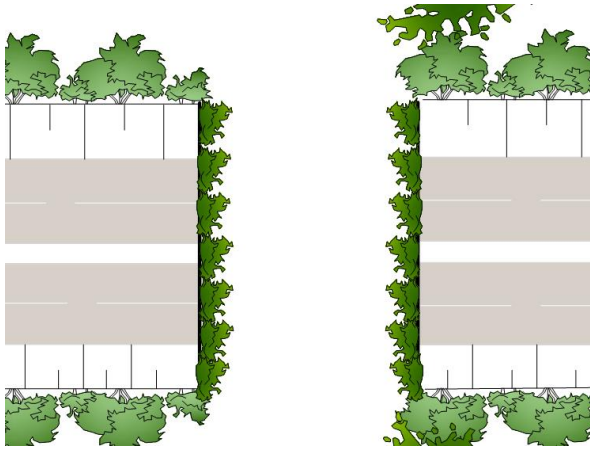


Ryc. 3.28. Różnica wysokości rzędnej jezdni i przejścia dla zwierząt na przejściu górnym na Węgrzech
Źródło: jako tło ryciny wykorzystano fot. Street View [164]

W danym przypadku, przy podobnej różnicy wysokości pomiędzy poziomem płaskiego terenu i rzędną obiektu w najwyższym punkcie, w przeciwieństwie do poprzednich przykładów, projektanci zaprojektowali łagodne najścia na obiekt (ryc. 3.28). Na uwagę zasługuje także sposób rozwiązania zagospodarowania skarp w pobliżu przyczółków. Skarpy są „zielone”, tj. na ich powierzchni jest posadzona tylko trawa. Bezpośrednio pod obiektem, w miejscu najbardziej zacienionym, też jest skarpa obsiana trawą, nie ma powszechnie w Polsce stosowanych płyt betonowych. Zastosowane rozwiązanie przyczynia się do bardzo dobrego wyciszenia hałasu drogowego i maksymalnego ograniczenia pogłosu. Szczelne nasadzenia na niewysokich wałach, wykonane wzdłuż najścia i strefy migracji, o wysokości ok. 3 m, zapewniają bardzo dobre przerwanie propagacji hałasu drogowego i zmniejszenie jego poziomu na powierzchni przejścia. Szerokość nasadzeń w najściu i na krawędzi obiektu jest równa ok. 5 m. Wszystkie opisane powyżej czynniki zrównoważonego projektowania przyczyniają się do stworzenia przyjaznych warunków i dobrej funkcjonalności opisywanego przejścia.

3.4. Kształt przejścia górnego w planie

Bardzo ważnym czynnikiem budowlanym, na który należy zwrócić uwagę w procesie projektowym konstrukcji przejścia, jest kształt powierzchni przejścia górnego (ryc. 3.29).

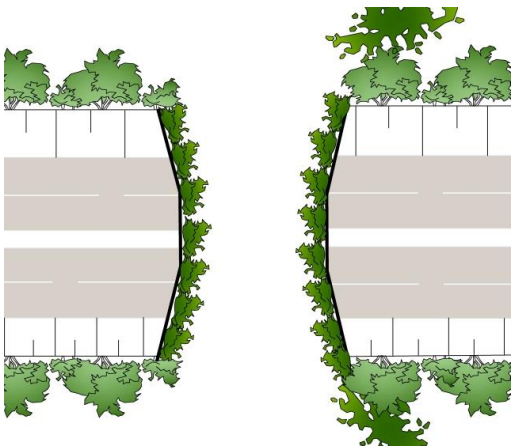


Ryc. 3.29a. Prostokątna konstrukcja mostu krajobrazowego w planie



Ryc. 3.29b. Przejście de Chèvrefeu nad A1 w Szwajcarii, o szerokości 110 m

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

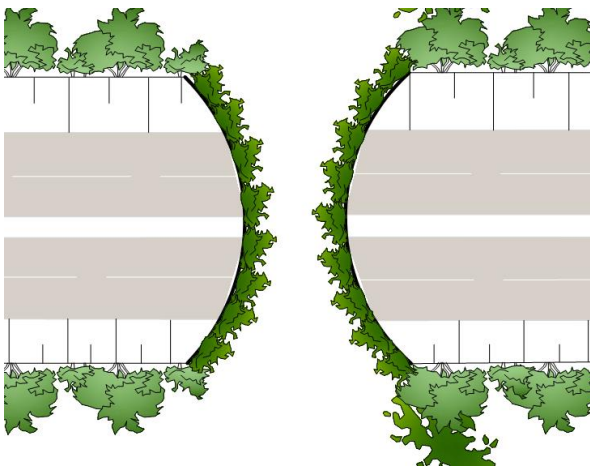


Ryc. 3.29c. Lejkowata konstrukcja mostu zielonego w planie



Ryc. 3.29d. Przejście Kootwijk nad A1 w Holandii, o szerokości obiektu 50 m (faktyczna szerokość przejścia wynosi 30 m)

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.29e. Paraboliczna konstrukcja mostu zielonego w planie



Ryc. 3.29f. Przejście Witrijt Kampengrens nad autostradą E34 w Holandii, o szerokości najścia 100 m, szerokości obiektu 67 m (faktyczna szerokość przejścia wynosi 51 m)

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Na wielu przejściach górnych wybudowanych w Szwajcarii, Austrii, Niemczech i wielu innych krajach wybudowano obiekty prostokątne, szczególnie jeśli miały one szerokość >80 m. W polskich wytycznych [121] zaleca się konstrukcje o kształcie parabolicznym (ryc. 3.29e). Jednak charakterystyka kształtów powierzchni obiektów zawarta w opracowaniu [52] ujmuje to zagadnienie w aspekcie ekonomicznym. A mianowicie mosty krajobrazowe, o szerokości przejścia >80 m, z reguły są projektowane w kształcie prostokąta ze względu na mały wpływ wylukowania krawędzi obiektu na ogólne koszty obiektu i budowy (ryc. 3.29a), przy zdecydowanie, co należy podkreślić, prostszym wówczas projektowaniu i procesie wykonawczym.

Na mostach krajobrazowych projektuje się wtedy wzdłuż krawędzi obiektu szeroki wał ziemny, o wysokości co najmniej 3 m, i na nim planuje się gęste nasadzenie krzewów osłonowych przedłużonych na dojeżdżaniach w naprowadzeniach, już poza przyczółkiem. Szerokość wału zależy jednak od projektu i waha się od 5 do 10 m. Przykładem jednym z wielu konstrukcji prostokątnych jest przejście de Chèvrefeu, o szerokości 110 m, wybudowane w 2001 r. nad autostradą A1 w Szwajcarii (ryc. 3.29b).

Natomiast przy budowie mostów zielonych zdecydowanie bardziej ekonomiczne jest przyjęcie kształtu lejkowatego lub parabolicznego (ryc. 3.29c, e), co powoduje obniżenie kosztów własnych obiektu w stosunku do kosztów konstrukcji prostokątnych. Łatwiejszy jest proces wykonawczy w przypadku konstrukcji lejkowatej niż parabolicznej, więc i koszt budowy będzie tańszy przy konstrukcji lejkowatej. Kolejnym aspektem ekonomicznym jest koszt zagospodarowania i odwodnienia powierzchni przejścia, co przy tej samej faktycznej szerokości przejścia daje w efekcie końcowym mniejsze koszty przy konstrukcji parabolicznej. W wytycznych [239] porównuje się różne kształty konstrukcji mostów zielonych, potwierdzając, że koszty budowy konstrukcji przy prostym prowadzeniu krawędzi obiektu są wyższe (ryc. 3.29a, ryc. 3.30) niż przy podobnych konstrukcjach o lejkowatym lub parabolicznym kształcie krawędzi obiektu (ryc. 3.31, 3.32). Reasumując powyższe, zdecydowanie bardziej ekonomicznym mostem zielonym jest konstrukcja paraboliczna.

Jednym z przykładów konstrukcji lejkowatej jest przejście Kootwijk w Holandii, wybudowane w 1998 r. nad autostradą A1 (ryc. 3.29d). Przejście ma następujące wymiary zasadnicze: szerokość najścia, mierzona na końcu płyty przejściowej, jest równa 70 m, szerokość przejścia, mierzona nad pasem dzielącym pomiędzy krawędziami obiektu, jest równa 50 m, szerokość faktyczna przejścia, zmierzona pomiędzy wałami ziemnymi, wynosi 30 m. Wały ziemne uformowane wzdłuż krawędzi obiektu mają w danym przypadku szerokość 10 m; obsadzone są bardzo gęsto krzewami, tworzącymi dodatkową osłonę i izolację zwierząt od ruchu drogowego. Przejście Kootwijk jest jednym z ważniejszych doświadczeń budowlanych, gdyż był to pierwszy obiekt w Holandii budowany nad czynną autostradą. Wykorzystując szeroki pas dzielący, zapewniono podczas budowy przejścia ruch ciągły, przenosząc go tymczasowo na drugą jezdnię. Wszystkie te zabiegi wpłynęły dodatkowo na zmniejszenie kosztów wykonawstwa [42].



Ryc. 3.30. Wymiary konstrukcji prostokątnej: szerokość strefy najścia – ok. 75 m, faktyczna szerokość przejścia – ok. 55 m

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.31. Wymiary konstrukcji parabolicznej: szerokość strefy najścia – 75 m, szerokość obiektu – 52 m, faktyczna szerokość przejścia – 44 m

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

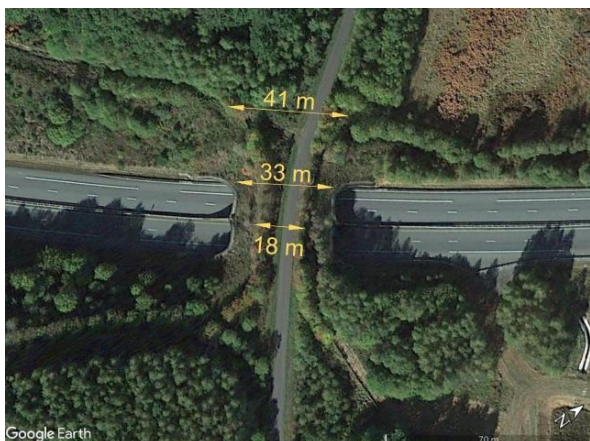


Ryc. 3.32. Przykład żelbetowej konstrukcji lukowej wystającej poza szerokość przejścia z każdej strony po 6 m

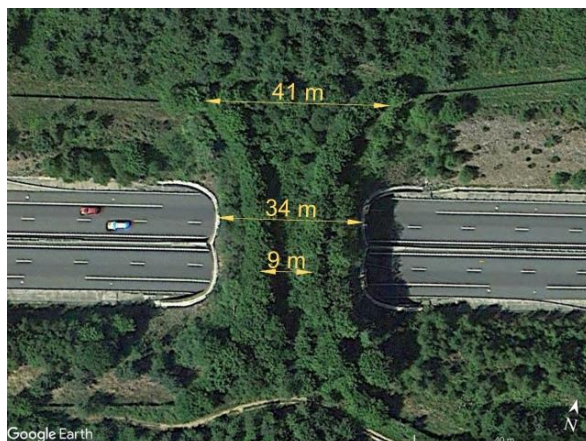
Porównanie kształtu wybudowanych konstrukcji parabolicznych wskazuje na ich dużą różnorodność w planie (ryc. 3.29f, 3.31–3.34). Przy konstrukcjach parabolicznych szerokości stref najścia na obiekt, mierzone na końcu ekranów lub „zielonych” naprowadzeń, są nieznacznie większe od faktycznej szerokości przejścia. Przy czym w przypadku różnych przytaczanych konstrukcji faktyczna szerokość przejścia nie zawsze jest tożsama z szerokością obiektu, mierzoną pomiędzy jego krawędziami – zob. np. mosty zielone przedstawione na ryc. 3.33 i 3.34. Również przy braku ekranów i przy wykorzystaniu na powierzchni przejścia tylko naturalnych nasadzeń, tworzących barierę izolacyjną i ochronną (ryc. 3.33, 3.34), faktyczne szerokości przejścia mogą być różne. Porównując charakterystyczne wymiary, podane na ryc. 3.33 i 3.40, można stwierdzić, że szerokość obiektu jest zbliżona, a jednak szerokości faktyczne przejść górnych są różne. Niektóre z wybudowanych obiektów są mostami zespolonymi, w związku z czym, w zależności od projektu konstrukcji oraz zagospodarowania terenu, można otrzymać różne parametry wyjściowe przejścia i jego faktycznej szerokości. Zazwyczaj lepszym rozwiązaniem jest projektowanie przejść samodzielnych, jednak koszty ich budowy, ze względu na ich rozmiary, znacznie przekraczają koszty typowych obiektów drogowych przeznaczonych do ruchu kołowego. Znaczne obniżenie kosztów obiektu (ze względu na mniejszą powierzchnię) można odnotować przy konstrukcji parabolicznej przedstawionej na ryc. 3.29e, jednak wówczas budowa jest trudniejsza, a tym samym koszty wykonawstwa mogą być większe niż przy konstrukcji prostokątnej. Paraboliczna konstrukcja ma znacznie szersze strefy najścia i w związku z tym charakteryzuje się większą różnicą szerokości mierzonej w strefie najścia na obiekt i faktycznego przejścia. Są to różnice sięgające kilkudziesięciu metrów. W przypadku przejścia Witrijt Kampengrens, wybudowanego nad autostradą E34 w Holandii (ryc. 3.29f), różnica szerokości pomiędzy strefą najścia a faktyczną szerokością przejścia wynosi ok. 50 m.

W Polsce też są wybudowane przejścia górne, które można zaliczyć do parabolicznych ze względu na ww. różnicę równą ok. 150 m. Specyficznym przykładem konstrukcji parabolicznej może być przejście górne wybudowane nad drogą ekspresową S3, w pobliżu wsi Popowo (ryc. 3.35). Jest to rzeczywiście konstrukcja o bardzo parabolicznych kształtach. Szerokość na styku strefy dojścia od strony lasu i strefy najścia na obiekt, mierzona pomiędzy ekranami drewnianymi, wynosi ok. 380 m, szerokość strefy najścia, mierzona w linii przyczółku, jest równa 83 m. Natomiast faktyczna szerokość przejścia, mierzona nad pasem dzielącym w największym miejscu strefy migracji pomiędzy ekranami, wynosi 55 m, a powierzchnia przejścia – ok. 8 ha.

Na przejściu zastosowano ekrany drewniane, doprowadzone do krawędzi lasu, a powierzchnię przejścia obsiano trawą (ryc. 3.36). Bardzo pozytywnie należy ocenić obustronne przedłużenie ekranów aż do granicy lasu, co przyczynia się do lepszej funkcjonalności przejścia, gdyż stanowi dobrą dla zwierząt ochronę izolacyjno-osłonową i jednocześnie linię naprowadzenia na przejście.



Ryc. 3.33. Wymiary przejścia zespolonego: szerokość strefy najścia – 41 m, szerokość obiektu – 33 m, faktyczna szerokość przejścia – ok. 18 m, wraz z drogą
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.34. Wymiary mostu zielonego: szerokość strefy najścia – 41 m, szerokość obiektu – 34 m, faktyczna szerokość przejścia – ok. 9 m
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.35. Największe pod względem obszaru w Polsce przejście górne PZD-25 nad drogą ekspresową S3 (o powierzchni ok. 8 ha, szerokości najścia ok. 380 m, faktycznej szerokości przejścia 55 m)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Naprowadzenia stanowią tylko drewniane ekrany, przy których od strony przejścia na szerokości 1 m rzadko posadzono niewielkiej wysokości krzewy i bluszcz. Nasadzenia na powierzchni przejścia są pojedyncze i rzadkie, ale rozłożonych jest dużo karpin o różnej wielkości (ryc. 3.37a, b). Szczelnie ogrodzony teren, o bardzo dużej powierzchni (ok. 8 ha), może przyczynić się do dobrej funkcjonalności przejścia, jeśli warunki biotyczne i abiotyczne oraz klimat hydrograficzny są w danej lokalizacji zapewnione.



Ryc. 3.36. Widok z góry fragmentu przejścia PZD-25, o szerokości najścia w linii przyczołku 83 m, faktycznej szerokości przejścia 55 m
 Źródło: fot. Piotr Pacelik [156].



Ryc. 3.37a. Widok strefy najścia na obiekt od strony zachodniej



Ryc. 3.37b. Widok strefy najścia na obiekt od strony wschodniej

Obiekt oddano do eksploatacji w 2013 r. Później dosadzono kilkadziesiąt krzewów i drzew na powierzchni najścia (ryc. 3.37). Przy ekranach drewnianych posadzono bluszcz, zasłaniający częściowo drewniane ekrany pomalowane na zielono (ryc. 3.38). Na powierzchni przejścia posiana jest trawa, nie ma wałów, za to rozłożono dużo pojedynczych karpin i głazów (ryc. 3.39).



Ryc. 3.38. Paraboliczny kształt przejścia i strefy naprowadzenia
Źródło: fot. Piotr Pacelik [156].



Ryc. 3.39. Powierzchnia przejścia wynosząca 8 ha – stan cztery lata po oddaniu drogi do eksploatacji
Źródło: fot. Piotr Pacelik [156].

Innym przykładem parabolicznej konstrukcji jest przejście Borkeld, wybudowane w Holandii nad autostradą A1, w Parku Narodowym Veluwe [234]. Jest to przejście również „doświadczalne” (ryc. 3.40). Zastosowano na nim konstrukcję żelbetową prefabrykowaną, podobną kształtem do omówionego przejścia Leusderheide nad autostradą A28 (zob. ryc. 3.74, 3.75). Różnica w konstrukcji żelbetowej polega na tym, że na przejściu Borkeld poszczególne elementy składowe konstrukcji mają gładkie ściany, zamiast charakterystycznych żeber (ryc. 3.76), i są zróżnicowane pod względem wysokości, czyli są wyższe bezpośrednio nad jezdnią, a niższe w okolicy przyczółku i dalej. Trzeba podkreślić, że na przejściu Borkeld, zgodnie z ostatnimi tendencjami holenderskim, nie zastosowano specjalnych nasadzeń, natomiast wybudowano wały ziemne naprowadzające zwierzęta na przejście, szczelnie połączone z końcem konstrukcji, będącej równocześnie ekranem betonowym (ryc. 3.40)¹.



Ryc. 3.40. Detale zagospodarowania i uformowania wałów ziemnych, zastosowane na przejściu górnym Borkeld; wymiary mostu zielonego: szerokość najścia – 126 m, szerokość w linii przyczółków – 3 m, faktyczna szerokość przejścia – 5 m
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

¹ Most zielony Borkeld za rozwiązanie konstrukcyjne był nominowany w konkursie Betonprijs w 2005 r. [62].

Przy czym wały ziemne zastosowane w naprowadzeniach mają inny kształt w każdej ćwiartce. Na powierzchni wałów ziemnych zastosowano gęste nasadzenia roślinności osłonowej. Na niewysokich wałach, uformowanych wzdłuż zachodniej krawędzi obiektu, na całej długości przejścia zastosowano rzadkie nasadzenia krzewów. Na powierzchni przejścia i na wałach przy wschodniej krawędzi obiektu posiano tylko trawę. W Parku Narodowym Veluwe znajdują się ścieżki leśne przeznaczone dla ludzi i ścieżka rowerowa, w związku z czym dla pieszych i rowerzystów wybudowano oddzielny obiekt, pozostawiając osobne przejście górne (ryc. 3.40), przeznaczone tylko dla zwierząt.

Należy zaznaczyć, że w omawianych przypadkach konstrukcji parabolicznych ekrany i wały, nadające przejściu paraboliczny kształt, były odgięte od jego osi podłużnej pod kątem 45°.

W podsumowaniu rozważań, dotyczących doboru kształtu konstrukcji, zestawiono w tab. 3.1 wspomniane wyżej zalety i wady każdej z nich.

Tab. 3.1. Wady i zalety zróżnicowanych pod względem kształtu konstrukcji

	Konstrukcje o kształcie prostokątnym	Konstrukcje o kształcie lejkowatym	Konstrukcje o kształcie parabolicznym
Zalety	<ul style="list-style-type: none"> – prostsze wymiarowanie i proces wykonawczy – możliwość budowy wałów ziemnych obsadzonych krzewami i uzyskania tym samym pożądanego mikroklimatu 	<ul style="list-style-type: none"> – mniejsze koszty własne obiektu (ze względu na powierzchnię) – możliwość zastosowania prefabrykatów, co oznacza mniejszy koszt obiektu i krótszy czas budowy (koszty ogólne mniejsze niż przy konstrukcji prostokątnej) – wykonawstwo możliwe przy zapewnieniu ruchu ciągłego – w zależności od szerokości istnieje możliwość zastosowania wałów ziemnych – czas budowy jest krótszy niż przy konstrukcji prostokątnej, w związku z czym krótszy jest czas przzerwania ciągłości trasy migracyjnej zwierząt – możliwe jest stosowanie prefabrykatów 	<ul style="list-style-type: none"> – mniejsze koszty własne obiektu niż przy konstrukcji lejkowatej (ze względu na powierzchnię) – możliwość zastosowania prefabrykatów, co oznacza mniejszy koszt obiektu i krótszy czas budowy (koszty ogólne mniejsze niż przy konstrukcji prostokątnej lub lejkowatej) – wykonawstwo możliwe przy zapewnieniu ruchu ciągłego – w zależności od szerokości istnieje możliwość zastosowania wałów – czas budowy krótszy niż przy konstrukcji prostokątnej, w związku z czym krótszy jest czas przzerwania ciągłości trasy migracyjnej zwierząt – możliwe jest stosowanie prefabrykatów
Wady	<ul style="list-style-type: none"> – duże koszty własne obiektu (ze względu na powierzchnię) i dłuższy proces budowy niż przy konstrukcji lejkowatej i parabolicznej, czyli koszt ogólny większy – znaczne utrudnienia w zapewnieniu ruchu ciągłego na drodze głównej podczas budowy – długi jest czas budowy i czas przzerwania ciągłości trasy migracyjnej zwierząt 	<ul style="list-style-type: none"> – trudniejszy proces projektowy i wykonawczy niż przy konstrukcji prostokątnej 	<ul style="list-style-type: none"> – trudniejszy proces wykonawczy, w związku z czym koszty budowy mogą być większe niż przy konstrukcji lejkowatej

3.5. Analiza powierzchni stref buforowych

W celu poszerzenia zagadnienia, dotyczącego m.in. specyficznego kształtu obiektu PZD-25 wybudowanego nad drogą ekspresową S3 w Polsce (ryc. 3.34, 3.35), należałoby wspomnieć, że w zagranicznych analizach kształtu przejść górnych stosuje się jeszcze pojęcie tzw. strefy buforowej, m.in. opisanej w opracowaniu Edgara A. van der Griffa [81]. Dotyczy ona najbliższego otoczenia obiektu, na powierzchni którego przewiduje się bezkolizyjne bytowanie zwierząt i ich migrację w kierunku obiektu. W strefach buforowych nie powinno się planować zabudowy i budowy obiektów związanych z działalnością człowieka, a przy doborze lokalizacji przejścia w pobliżu istniejącej zabudowy lub innych obiektów należy zadbać o to, żeby znajdowały się one koniecznie poza strefą buforową (ryc. 3.41 – strefa buforowa została oznaczona kolorem zielonym). W poniżej zawartych komentarzach do ryc. 3.41 stwierdzono, że w przypadku migracji jelenia szlachetnego minimalna szerokość strefy buforowej będzie równa 300 m [81], czyli promień dojazdu do przejścia będzie równy 150 m.

Jak już wyżej wspomniano, przejścia górne należy projektować jako przejścia samodzielne; nie powinno się planować na nich żadnych dróg komunikacyjnych dla ludzi, tj. dróg lokalnych, gruntowych, ścieżek przeznaczonych dla pieszych, jeźdźców lub rowerzystów (rozdz. 2.2). W związku z tym w wielu zagranicznych podręcznikach ekologicznych sugeruje się planowanie w strefie najścia na obiekt stref buforowych przeznaczonych tylko dla zwierząt.

W opracowaniu Edgara A. van der Griffa [81] przy rozważaniach zalecanych kształtów konstrukcji przejścia górnego przeanalizowano podstawowe parametry przejścia: szerokość², długość, współczynnik względnej ciasnoty, a także strefę najścia rozumianą jako różnicę rzędnej wysokości otaczającego terenu i rzędnej przejścia górnego oraz wspomnianą strefą buforową (ryc. 3.41). W cytowanych rozważaniach [81] brano pod uwagę faktyczną szerokość przejścia, tj. szerokość pomiędzy ekranami, wałami czy innymi osłonami, zastosowanymi po obu stronach przejścia, w jego najwyższym miejscu. Szerokość obiektu (tj. odległość techniczna pomiędzy krawędziami obiektu) była większa, ale w cytowanych rozważaniach jest ona mało istotna. Strefę migracji i najścia na obiekt oznaczono na ryc. 3.41 kolorem szarym.

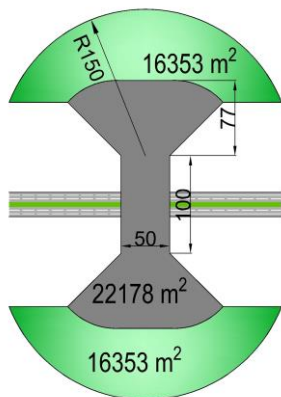
W rozważaniach nt. kształtu przejścia w opracowaniu [81] przyjęto dwie wartości współczynnika względnej ciasnoty – zalecaną wartość równą 0,8 i minimalną wartość równą 0,5. Założone w rozważaniach wartości współczynnika w/l pozwoliły obliczyć długość przejścia, przy przyjętej optymalnej, określonej dla jeleni, szerokości przejścia równej 50 m:

- przy stosunku $w/l = 0,8$ długość przejścia jest równa 62,5 m,
- przy stosunku $w/l = 0,5$ długość przejścia jest równa 100 m.

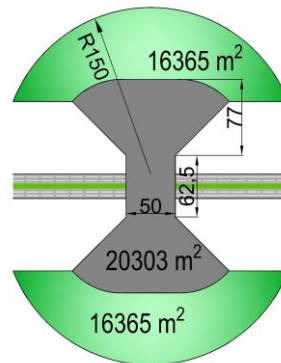
Kolejne założenie przyjęte w powyższych rozważaniach dotyczyło różnicy wysokości. Analizując zagraniczne wytyczne dotyczące pochylenia podłużnego najścia na przejście górne, rozważono w niniejszej monografii dwie wartości – optymalną równą 1:20 i minimalną wynoszącą 1:10. Przyjmując bardziej niekorzystny wariant, gdy droga jest zaplanowana na poziomie terenu (ryc. 3.41a, b, e), a przejście górne jest zlokalizowane powyżej, należało obliczyć różnicę wysokości pokonywaną przez zwierzęta, która równa jest sumie skrajni drogowej, powiększonej o grubość przęsła orientacyjnie równą ok. 2 m i grubość warstwy gruntu równą 2 m, co przy skrajni drogowej holenderskiej daje 7,6 m. Odnosząc rozważania holenderskie do polskich warunków projektowych, należy przyjąć skrajnię drogową, obowiązującą w Polsce na autostradach i drogach ekspresowych, równą 4,7 m. Różnica wysokości w warunkach krajowych wynosi zatem 7,7 m.

² Jako szerokość obiektu, rozważaną w analizach w opracowaniu [81], przyjęto szerokość minimalną zalecaną dla jeleni, czyli równą 50 m. To nie oznacza, że z przejścia górnego o szerokości <50 m jelenie nie będą korzystać; żeby przez nie przejść, muszą zaakceptować węższe przejście, w związku z czym skuteczność danego przejścia pod względem wykorzystania go przez jelenie będzie mniejsza, a liczba przejść jeleni przez obiekt węższy będzie mała.

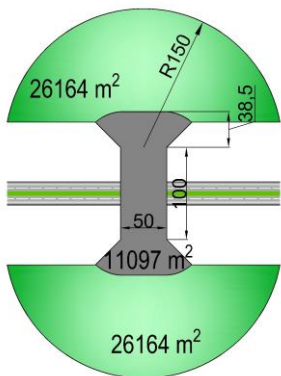
a) przypadek, gdy droga znajduje się na dolnym poziomie i gdy różnica wysokości wynosi 7,7 m, przy $w/l = 0,5$; ekrany i naprowadzenie odchylone są o kąt 45° od osi obiektu



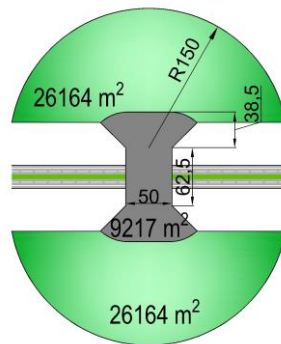
b) przypadek, gdy droga znajduje się na dolnym poziomie i gdy różnica wysokości wynosi 7,7 m, przy $w/l = 0,8$; ekrany i naprowadzenie odchylone są o kąt 45° od osi obiektu



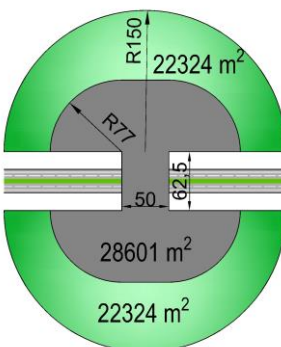
c) przypadek, gdy droga znajduje się w niegłębokim wykopie, np. 0,5 ($\Delta = 7,7 \text{ m}$) = 3,85 m, przy $w/l = 0,5$; ekrany i naprowadzenie odchylone są o kąt 45° od osi obiektu



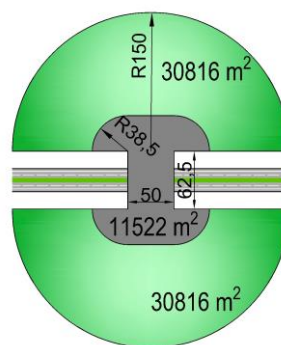
d) przypadek, gdy droga znajduje się w niegłębokim wykopie, np. 0,5 ($\Delta = 7,7 \text{ m}$) = 3,85 m, przy $w/l = 0,8$; ekrany i naprowadzenie odchylone są o kąt 45° od osi obiektu



e) przypadek, gdy droga znajduje się na dolnym poziomie i gdy różnica wysokości wynosi 7,7 m; ekrany i naprowadzenie są równoległe do krawędzi skarpy



f) przypadek, gdy droga znajduje się w niegłębokim wykopie, np. przy różnicy wysokości 0,5 ($\Delta = 7,7 \text{ m}$) = 3,85 m; ekrany i naprowadzenie są równoległe do krawędzi skarpy



Ryc. 3.41. Zmiany powierzchni zajętości potrzebnego terenu na przejściu górne samodzielne i strefy buforowej, przeznaczonej wyłącznie dla zwierząt; wymiary promienia i szerokości przejścia podane są w metrach
 Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak na podstawie rozważań Edgara A. van der Grifta [81], z uwzględnieniem polskich warunków projektowych odnośnie do skrajni drogowej obowiązującej w Polsce na autostradach i drogach ekspresowych.

Przy minimalnym pochyleniu podłużnym najścia równym 1 : 10, przy różnicy wysokości 7,7 m, jego długość będzie równa 77 m. W odniesieniu do autostrady lub drogi ekspresowej, znajdującej się w niewielkim wykopie, można w celach porównawczych przyjąć np. połowę wysokości – wówczas długość najścia będzie równa 38,5 m.

Ostatnie założenie projektowania stref buforowych dotyczy ukierunkowania ekranów lub naprowadzeń na przejście, które powinno się wykonywać pod kątem 45°, w stosunku do osi podłużnej przejścia górnego. Na ryc. 3.34 przedstawiono wyniki rozważań dotyczące zajętości terenu przez przejście i strefę buforową, dostosowane do polskich warunków projektowych, szczególnie do obowiązującej w Polsce wysokości skrajni drogowej.

Powierzchnie przytoczone na ryc. 3.41 i w tab. 3.2 wyznaczają granice orientacyjne odpowiednie do rozważanych warunków. Ich wartości mogą być pomocne w analizach projektowych, żeby pokazać, że w konsekwencji projektant powinien zawsze rozważać możliwości lokalizacji autostrady lub drogi ekspresowej w wykopie i na poziomie otaczającego terenu.

Tab. 3.2. Potrzebna powierzchnia strefy buforowej oraz przejścia i najścia (przy pochyleniu podłużnym równym 10%)

Lp.	Opis analizowanego przypadku	Współczynnik względnej ciasnoty, przy przyjętej szerokości przejścia zapewniającej migrację jeleni szlachetnych ($w = 50$ m)	
		$w/l = 0,5$	$w/l = 0,8$
Naprowadzenia są odchylone od osi podłużnej przejścia pod kątem 45°			
1	Przypadek, gdy przejście górne jest wyniesione w górę ponad otaczający teren i drogę na wysokość 7,7 m	powierzchnia przejścia i najścia 2,22 ha powierzchnia strefy buforowej 3,27 ha	powierzchnia przejścia i najścia 2,03 ha powierzchnia strefy buforowej 3,27 ha
2	Przypadek, gdy przejście górne jest wyniesione w górę ponad otaczający teren na wysokość 3,85 m, a droga znajduje się w wykopie o głębokości 3,85 m	powierzchnia przejścia i najścia 1,11 ha powierzchnia strefy buforowej 5,23 ha	powierzchnia przejścia i najścia 0,92 ha powierzchnia strefy buforowej 5,23 ha
Naprowadzenia są równoległe do drogi			
3	Przypadek, gdy przejście górne jest wyniesione w górę ponad otaczający teren i drogę na wysokość 7,7 m	powierzchnia przejścia i najścia 2,86 ha powierzchnia strefy buforowej 4,46 ha	
	Przypadek, gdy przejście górne jest wyniesione w górę ponad otaczający teren na wysokość 3,85 m, a droga znajduje się w wykopie o głębokości 3,85 m	powierzchnia przejścia i najścia 1,15 ha powierzchnia strefy buforowej 6,16 ha	

Analiza danych zestawionych na ryc. 3.41 i w tab. 3.2 wskazuje, że przy zastosowaniu współczynnika względnej ciasnoty $w/l = 0,8$ otrzymuje się dwukrotnie mniejsze powierzchnie przejścia i najścia niż przy współczynniku $w/l = 0,5$. Strefa buforowa jest znacznie większa przy zastosowaniu naprowadzenia i ekranów równoległe do drogi niż przy zastosowaniu odchylenia o 45°.

Różne jest podejście projektantów i ekologów do wycinki drzew w strefie buforowej, w związku z czym jej powierzchnia nie jest równoznaczna z wycinką. Strefa buforowa ma za zadanie przede wszystkim wskazywać, że na tym obszarze przy projektowaniu przejść samodzielnych nie powinny się znajdować obiekty związane z działalnością człowieka. **Strefa buforowa nie jest powierzchnią planowanej wycinki drzew.**

W celu lepszego zilustrowania stref buforowych poniżej przytoczono kilka wybudowanych przejść, głównie holenderskich (ryc. 3.42–3.46). Na ryc. 3.42 przedstawiono klasyczny obiekt z ekranami odgiętymi o 45°, a na ryc. 3.43–3.46 – różne rozwiązania z ekranami zlokalizowanymi równoległe do jezdni autostrady. Na ryc. 3.43 przejście znajduje się nad autostradą; po obu stronach widać różne kształty strefy buforowej. Na ryc. 3.44–3.46 przedstawiono przejście Zwaluwenberg w trzech różnych okresach, przy różnym stanie zagospodarowania terenu zielenią.



Ryc. 3.42. Strefa buforowa na moście zielonym wybudowanym nad autostradą A1 w Holandii, koło wsi Udel
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.43. Strefa buforowa na moście zielonym Feldbiss
Źródło: fot. Raymond Tilmans, Provincie Limburg, Holandia [221].



Ryc. 3.44. Strefa buforowa na moście zielonym Zwaluwenberg wybudowanym nad autostradą A27; stan dwa lata po budowie w 2014 r.
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.45. Strefa buforowa na moście zielonym Zwaluwenberg; stan jesienią 2016 r.
Źródło: fot. Nico Jonker [110].

Warto również pokazać, jak kształtuje się strefy buforowe w Polsce i za granicą. Przykładem dużej wycinki drzew w strefie buforowej może być most zielony, o szerokości 45 m, wybudowany nad autostradą A4 w Polsce (ryc. 3.47). Po obu stronach mostu wycięto 1,2 ha lasu; tę powierzchnię wyciętego lasu po zakończeniu budowy trzeba było na nowo zagospodarować i wypełnić nowymi nasadzeniami. Drzewa w lesie, które rosną od wielu lat, zwierzęta rozpoznają swoim węchem, bowiem na nich osiadają fragmenty futra i piór (podstawowych oznak bytowania zwierząt); drzewa te są wieloletnie. Nowe drzewa, zanim się przyjmą w nowym środowisku, są dla zwierząt elementem obcym. Warto więc tak opracować projekt, by jak najmniej naruszać istniejące struktury siedliskowe i nie stosować nadmiernej wycinki drzew. Przykład

nadmiernej wycinki przedstawiono przy prezentacji największego obszarowo przejścia wybudowanego nad drogą ekspresową S3, koło wsi Popowo (ryc. 3.34–3.39).



Ryc. 3.46. Strefa buforowa na moście zielonym Zwaluwenberg; stan latem 2017 r.
Źródło: fot. Provincie Noord-Holland, www.noord-holland.nl [141].

Przeciwieństwem projektowania i budowy związanej z dużą wycinką drzew są mosty wybudowane w krajach zachodnich, np. most zielony nad autostradą A35 we Francji, koło wsi Ebersmunster (ryc. 3.48a). Widoczne na zdjęciu satelitarnym polany leśne są naturalne, co potwierdza wieloletnia dokumentacja fotograficzna zawarta w programie Google Earth. Jest to duży kompleks leśny, w którym są tereny przeznaczone na pola uprawne pobliskich rolników. Analiza zdjęć satelitarnych z prawie 20 lat wskazuje, że polany stopniowo samoistnie zarastają, co oznacza, że jest to proces odwrotny do przedstawionego przykładu z Polski (ryc. 3.47a), gdzie obecnie trwają prace związane z sadzeniem nowych drzew i krzewów na terenie byłych wycinek, dokonanych przed budową mostu. Również zagospodarowanie skarp przyczółków i najścia na obiekt różni się diametralnie, co przedstawiono na ryc. 3.47b i 3.48b.



Ryc. 3.47a. Strefa buforowa przy moście zielonym, o szerokości obiektu i faktycznej szerokości przejścia 45 m
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.47b. Zagospodarowanie skarp wykopu i strefy najścia na moście zielonym w Polsce nad autostradą A4
Źródło: fot. Street View [164].



Ryc. 3.48a. Strefa buforowa przy moście zielonym, o szerokości: obiektu 23 m, pomiędzy ekranami 19 m i faktycznej szerokości strefy migracji 7,5 m
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.48b. Zagospodarowanie skarp wykopu i strefy najścia na moście zielonym we Francji, wybudowanym nad autostradą A35
Źródło: fot. Street View [164].

Analiza zagospodarowania skarp przyczółków i najść na przejście w obu przypadkach wykazuje, że na moście zielonym w Polsce zwierzęta wychodzące z lasu i ze strefy buforowej pozbawionej drzew są oślepiane światłami drogowymi i są narażone na podwyższony poziom hałasu i stężenia spalin (ryc. 3.47b), co oznacza, że dane przejście może wykazywać niepożądane oddziaływanie barierowe na zwierzęta. Natomiast w rozwiązaniu mostu zielonego zastosowanym we Francji zwierzęta, wychodząc ze strefy buforowej, mają zasłonięty widok autostrady, a zastosowane nasadzenia i ekran drewniany, łączący się z nasadzeniami, skutecznie chronią je także przed hałasem drogowym i spalinami (ryc. 3.48b), co oznacza, że w danym przypadku nie ma oddziaływania barierowego.

Warto także przeanalizować mosty zielone wybudowane na terenach rolniczych, czyli tzw. terenach otwartych. Na ryc. 3.49–3.51 przedstawiono różne konstrukcje mostów zielonych i zagospodarowanie terenu w strefach buforowych związane z uzupełnieniem nasadzeń lub połączeniem dotychczasowych małych siedlisk w celu stworzenia dla zwierząt „imitacji” większego siedliska naturalnego. Na ryc. 3.49 i 3.50 przedstawiono zagospodarowanie dotychczasowych terenów otwartych w celu nakierowania zwierząt na przejście. Zwierzęta kierując się intuicją, odbierają zagajniki jako teren leśny, środowiskowy i być może związany z miejscem żerowania lub wodopoju. Więc zagospodarowanie nowymi nasadzeniami terenów dotychczas otwartych jest dobrą kompensacją przyrodniczą i nakierowuje zwierzęta na dalszą drogę migracji. Dla zobrazowania różnic w zastosowanych rozwiązaniach odpowiednio dobrano lokalizację mostu w pobliżu kompleksu leśnego, czyli celu migracji zwierząt (ryc. 3.49) oraz lokalizację na terenie rolniczym (ryc. 3.50).

Przykład mostu zielonego, przedstawiony na ryc. 3.51, na terenie otwartym rolniczym obrazuje kompensacyjne połączenie doczasowych małych zagajników w jeden wspólny obszar niewielkiego siedliska (czyli nowo utworzoną strefę buforową), które może przyciągać zwierzęta polne i nakierowywać je na dalszą drogę migracji. W celu porównania dotychczasowych warunków migracji na ryc. 3.52 przedstawiono zdjęcie satelitarne terenu przed budową drogi krajowej B96 w północnym rejonie Sundhagen w Niemczech. W miejscu dzisiejszego mostu zielonego wcześniej był teren z ekranami słonecznymi, a w pobliskim małym siedlisku znajdowało się niewielkie oczko wodne. Obecnie jest to dość duże siedlisko z oczkiem wodnym, dobrze wkomponowane w istniejące otoczenie (ryc. 3.51, 2.18).

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że poszukiwanie *aurea mediocritas*, jeśli chodzi o kształt powierzchni przejścia, jest w procesie projektowym nieuniknione, gdyż najpierw trzeba podjąć decyzję dotyczącą typu przejścia, a dopiero później decyzję dotyczącą rodzaju konstrukcji, czyli kompromisu – pogodzenia względów środowiskowych, budowlanych i ekonomicznych. Dopiero efekt końcowy,

wynikający z połączenia i optymalizacji ww. czynników, będzie najlepszym rozwiązaniem danego przejścia górnego, prawdopodobnie gwarantującym jego dobrą skuteczność.



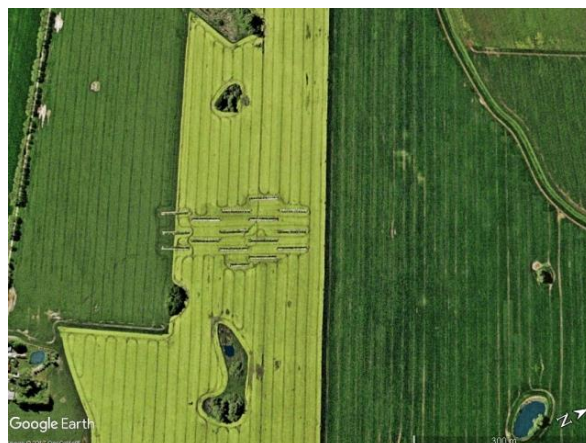
Ryc. 3.49. Nowo utworzona strefa buforowa mostu zielonego wybudowanego na terenie rolniczym, niedaleko lasu, powstała z połączenia niewielkich zagajników
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.50. Nowo utworzona strefa buforowa mostu zielonego, wybudowanego na terenie rolniczym z niewielką deniwelacją terenu, powstała z jednego zagajnika
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.51. Nowo utworzona strefa buforowa mostu zielonego, wybudowanego na otwartym terenie rolniczym nad drogą B96, powstała z połączenia niewielkich zagajników wraz z oczkiem wodnym
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.52. Teren otwarty (z ekranami solarnymi) przed budową drogi B96 w okolicy przyszłego mostu zielonego przedstawionego na ryc. 3.51
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Dobrym przykładem powyższych konkluzji, czyli zrównoważonego projektowania, może być także przejście górne wybudowane nad autostradą I90 w USA, w pobliżu jeziora Keechelus (w górach Cascade) [90, 219], na którym pogodzono aspekty budowlane i przede wszystkim środowiskowe, mniej uwagi poświęcając aspektom ekonomicznym (ryc. 3.53).

Zaproponowane rozwiązanie zapewnia skuteczny korytarz migracyjny, z którego skorzystać może ponad 200 gatunków zwierząt [54, 96, 126, 224]. Dotychczasowa autostrada, najdłuższa droga łącząca wschód z zachodem w stanie Waszyngton, była dwujezdniową drogą z dwoma pasami ruchu na każdej jezdni. Obecnie droga jest poszerzana; na każdej jezdni będą po trzy pasy ruchu. Przebudowa odcinka autostrady I90, o długości ok. 15 mil, ma być zakończona w 2021 r. Natężenie ruchu w 2015 r. wynosiło ok. 28 000 P/24h [31].



Ryc. 3.53. Różnorodny krajobraz otaczający i zróżnicowane stromości skarp w strefie najścia
Źródło: wizualizacja przejścia z projektu PRR I-90 WSDOT – Washington State Department of Transportation [235].

Największym problemem podczas budowy było ustabilizowanie podłoża gruntowego i poradzenie sobie ze stromością zboczy. Jest to teren równocześnie będący jednym z najważniejszych ogólnopństwowych i narodowych korytarzy migracyjnych w stanie Waszyngton. Żyją tu głównie: jelenie, losie, kozy górskie, czarne niedźwiedzie, pumy, lisy, norki, wydry, dzikie indyki, dzikie kaczki, kojoty i wiele innych mniejszych zwierząt. W sumie na długości ok. 15 mil (ponad 24 km) autostrady I90 zaplanowano budowę 32 średnich i 18 dużych przejść dolnych oraz ponad 100 przepustów [224]. W wielu miejscach w ciągu autostrady I90 już wybudowano dolne przejścia [99]. Aktualnie (w 2018 r.) trwa budowa jeszcze dwóch dużych masywnych mostów, również planowanych w przyszłości do wykorzystywania przez zwierzęta jako przejścia dolne [118]. W jednym miejscu przy dużej różnicy wysokości terenu, na wschód od przełęczy Snoqualmie, zaszła potrzeba budowy przejścia górnego (na odcinku drugim autostrady I90) [235]. Dotychczas było to miejsce wypoczynku mieszkańców pobliskiego rejonu i niewielki parking Price Creek, po obu stronach autostrady [96, 97] (ryc. 3.53).

Opracowano kilka koncepcji mostu zielonego, różniących się przede wszystkim konstrukcją obiektu, który ma być gotowy w 2019 r. [95, 97, 126, 235]. Wszystkie koncepcje obiektu dotyczące górnego przejścia miały podobne rozwiązanie najścia na obiekt. Biorąc pod uwagę ważność szlaku migracyjnego i różnorodność zwierząt z niego korzystających, oprócz mostu zielonego zaplanowano budowę dwóch przejść dolnych (w odległości 70 i 220 m – ryc. 3.54) i trzeciego przejścia zlokalizowanego bliżej jeziora Keechelus, w odległości 1200 m od mostu zielonego (ryc. 3.55) [96, 99]. Szczególną uwagę zwraca rozsuniecie obu

jezdni w celu uzyskania lepszego doświetlenia promieniami słonecznymi terenu wokół przejść dolnych [96, 99].



Ryc. 3.54. Fragment wizualizacji projektu PRR I-90 WSDOT przedstawiający przejście górne i dwa przejścia dolne planowane do wybudowania w odległości 70 i 220 m od mostu zielonego
Źródło: PRR I-90 WSDOT – Washington State Department of Transportation [235].



Ryc. 3.55. Fragment wizualizacji projektu PRR I-90 WSDOT przedstawiający trzecie przejście dolne zlokalizowane bliżej jeziora, w odległości 1200 m od mostu
Źródło: PRR I-90 WSDOT – Washington State Department of Transportation [235].

3.6. Przegląd zaleceń projektowych i stromości najść na istniejących przejściach górnych

Możliwe rodzaje konstrukcji przejścia górnego są różne, co omówiono w rozdz. 2. Wybór rodzaju konstrukcji zależy „[...] głównie od topografii, stabilności podłoża, kosztów, estetyki i lokalnych tradycji [...]” [42, rozdz. 7, s.17]. Przykładami mogą być konstrukcje betonowe tradycyjne, konstrukcje z blach falistych lub konstrukcje nowej generacji (scharakteryzowane w rozdz.3.7). Każdy konstruktor w procesie projektowym powinien rozważyć możliwe szczegóły techniczne. Na ryc. 3.56–3.60 przedstawiono istotne cechy obiektu mające zapewnić przyjazne warunki środowiskowe i funkcjonalność projektowanego przejścia.

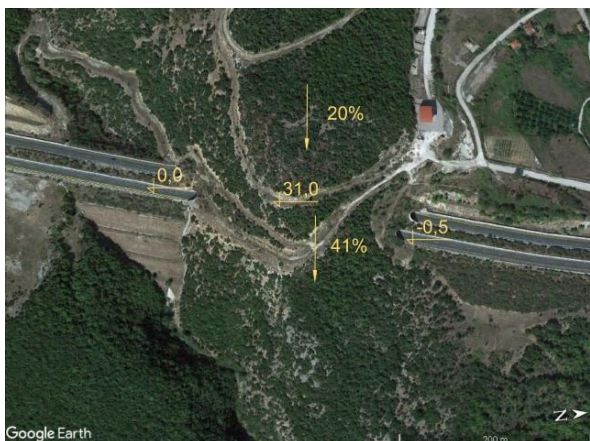
Pierwszą podstawową zasadą zrównoważonego projektowania przejść górnych zapewniających akceptację zwierząt jest projektowanie powierzchni przejścia górnego na równym poziomie z otaczającym terenem i lokalizowanie drogi lub linii kolejowej poniżej terenu w wykopie. Jeśli droga nie jest zaprojektowana w wykopie na płaskim terenie, to przejścia górne można projektować wyjątkowo na górnym poziomie, ale należy zadbać o łagodne pochylenie podłużne najść na obiekt oraz zastosować naprowadzenia pełniące równocześnie funkcje osłonowe i izolacyjne. Zgodnie z zasadami projektowymi sformułowanymi w COST 341 [42] można stwierdzić, że w dotychczasowych opracowaniach środowiskowych „[...] nie ma wystarczającej, uzasadnionej badaniami, wiedzy na temat maksymalnego pochylenia podłużnego najść tolerowanego przez różne zwierzęta [...]” [42, rozdz. 7, s. 17].

W incydentalnych przypadkach są wybudowane autostrady, które zlokalizowano na stromych zboczach; są one tolerowane przez miejscowe zwierzęta, przyzwyczajone do naturalnej stromości stoków. Przykładem takich rozwiązań może być grecka autostrada Egnatia E90, wybudowana pomiędzy Salonikami a Igoumenitsa (ryc. 3.56–3.60), w ciągu której wybudowano kilkadziesiąt mostów i tuneli ze względu na górzysty teren. Autostrada, przechodząc przez wzgórza, w niektórych miejscach składa się naprzemiennie z mostów i tuneli. Jedne i drugie pełnią funkcję środowiskową, umożliwiając zwierzętom swobodne przemieszczanie się. Nie są to jednak obiekty wybudowane specjalnie dla zwierząt, jednak umożliwiają im niezależną migrację.



Ryc. 3.56. Zdjęcie satelitarne fragmentu autostrady Egnatia E90, prowadzącej przez pasmo górskie, i cztery tunele stanowiące równocześnie przejścia górne
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

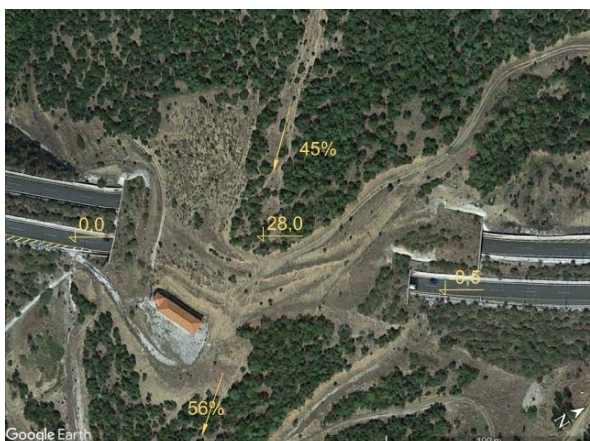
Na ryc. 3.57–3.60 przedstawiono tunele i równocześnie przejścia górne. Na ryc. 3.58 i 3.60 przedstawiono również rzeczywistą stromość skarpy wzgórza górskiego. W danym przypadku dla zwierząt stromość skarpy górskiej, równa 20–50%, jest naturalna, bo w takich warunkach one tutaj egzystują. A szerokość przejścia ok. 200 m pozwala im na swobodne przemieszczanie się. Na ryc. 3.57 i 3.58 przedstawiono tunel wykonany z blach falistych, z ukośnym zakończeniem, a na ryc. 3.59 i 3.60 – tunel ze ścianą czołową prostokątną.



Ryc. 3.57. Zdjęcie satelitarne tunelu (o długości 220 m) i równocześnie przejścia górnego (pochylenie podłużne zbocza wynosi 20% i 41%)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.58. Stromość wzgórze nad tunelem, wykonanym z blach falistych, z ukośnym zakończeniem
 Źródło: fot. Street View [164].



Ryc. 3.59. Zdjęcie satelitarne tunelu (o długości 180 m) i równocześnie przejścia górnego (pochylenie podłużne zbocza wynosi 45% i 56%)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.60. Stromość wzgórze nad tunelem, wykonanym z blach falistych, z prostokątną ścianą czołową
 Źródło: fot. Street View [164].

Innym przykładem ilustrującym zrównoważone projektowanie, uwzględniające analizy stromości skarp górskich, pochylenia podłużnego przejścia i obustronnych najść może być opisane w rozdz. 3.5 przejście górne zaplanowane do budowy w pobliżu jeziora Keechelus w USA (w górach Cascade), nad autostradą 190 [96, 235] (ryc. 3.53, 3.54).

Kolejnym problemem, z którym powinni się zmierzyć projektanci, jest dobór materiałów i konstrukcji przejścia. Z reguły zakłada się, że przejścia górne wykonywane są z elementów prefabrykowanych, co znacznie skraca ich budowę; ze względów środowiskowych jest to istotny element wyboru tego typu konstrukcji. Zgodnie z większością zaleceń projektowych zawartych w wytycznych rodzaj wybranej i zastosowanej konstrukcji przejścia górnego powinien zapewnić ułożenie odpowiedniej warstwy gleby, wałów ziemnych, roślinności.

3.7. Przegląd rozwiązań doświadczalnych i różnorodnych rodzajów ekranów stosowanych na górnych przejściach dla zwierząt

Na przejściach górnych funkcje ekranu są zupełnie inne niż na przejściach dolnych. W danym przypadku, wg polskich zaleceń [133], obowiązuje stosowanie ekranu na długości min. 50 m od krawędzi obiektu. W wytycznych [121] dodano do ww. zasad jeszcze kilka innych zaleceń, przy okazji omawiania warunków naprowadzania zwierząt na przejście, a mianowicie: ekrany na obiekcie powinny pełnić funkcję przeciwhałasową i przeciwośnieniową, natomiast nasadzenia roślinności w strefie naprowadzającej powinny pełnić funkcję osłonowo-izolacyjną i powinny być płynnie połączone z ekranem oraz ogrodzeniem. W strefie naprowadzenia powinno się stosować dwurzędowe, gęsto posadzone, krzewy, na długości 50 m po każdej stronie obiektu, które powinny być szczelnie połączone z nasadzeniami wzdłuż ekranów.

Na autostradach i drogach ekspresowych w krajach zachodnich stosuje się różnego rodzaju ekrany. Dawniej stosowano ekrany betonowe, a później ekrany drewniane; ostatnio coraz częściej stosuje się ogrodzenia siatkowe, a za nimi – wały ziemne, o wysokości ok. 3 m. Porównanie oddziaływania rodzaju ekranu na zmniejszenie poziomu hałasu w strefie dojścia do obiektu, najścia na obiekt i na terenie samego obiektu przedstawiono szczegółowo w rozdz. 6 niniejszej monografii. Poniżej scharakteryzowano kilka rodzajów ekranów, odnosząc się do połączonego z nimi zagospodarowania strefy najścia i migracji.

Szczególnym przypadkiem zastosowania ekranu drewnianego są dwa mosty zielone wybudowane nad autostradą A20 w Niemczech. Zastosowane ekrany są panelami poziomymi lub pionowymi, umieszczonymi w stalowych słupach o przekroju litery „H”. Ekrany ściśle łączą się z wałami i naprowadzeniami roślinnymi na przejście górne (ryc. 3.61). Na ryc. 3.62 i 3.63 przedstawiono szczegóły zastosowanych ekranów drewnianych z wyprofilowanymi wnękami (typu loggia) nad pasem dzielącym na mostach zielonych w Niemczech. Na zbliżeniu widoku ekranu widać szpary na dole, pod nim (ryc. 3.62). Jednak przy uwzględnieniu tego, że za ekranem na powierzchni przejścia są uformowane nieregularne wały ziemne, o wysokości do 1,5 m, i naprzemiennie zastosowane zagajniki z różnorodnymi nasadzeniami, ta luka pod ekranem wielkości 0,1 m nie ma większego znaczenia ani w odniesieniu do propagacji hałasu, ani w odniesieniu do oślepiania zwierząt światłem drogowym. Połączenie ekranów z nasadzeniami naprowadzającymi zwierzęta na obiekt i zastosowane wały ziemne w strefie dojścia do przejścia oraz w strefie migracji zapewniają odpowiedni mikroklimat, co przyczynia się do bardzo dobrej ich funkcjonalności, którą autorka naocznie potwierdziła w trakcie cyklicznych wizji lokalnych na tych przejściach.



Ryc. 3.61. Ekran drewniany na moście zielonym wybudowanym nad autostradą A20 w Niemczech

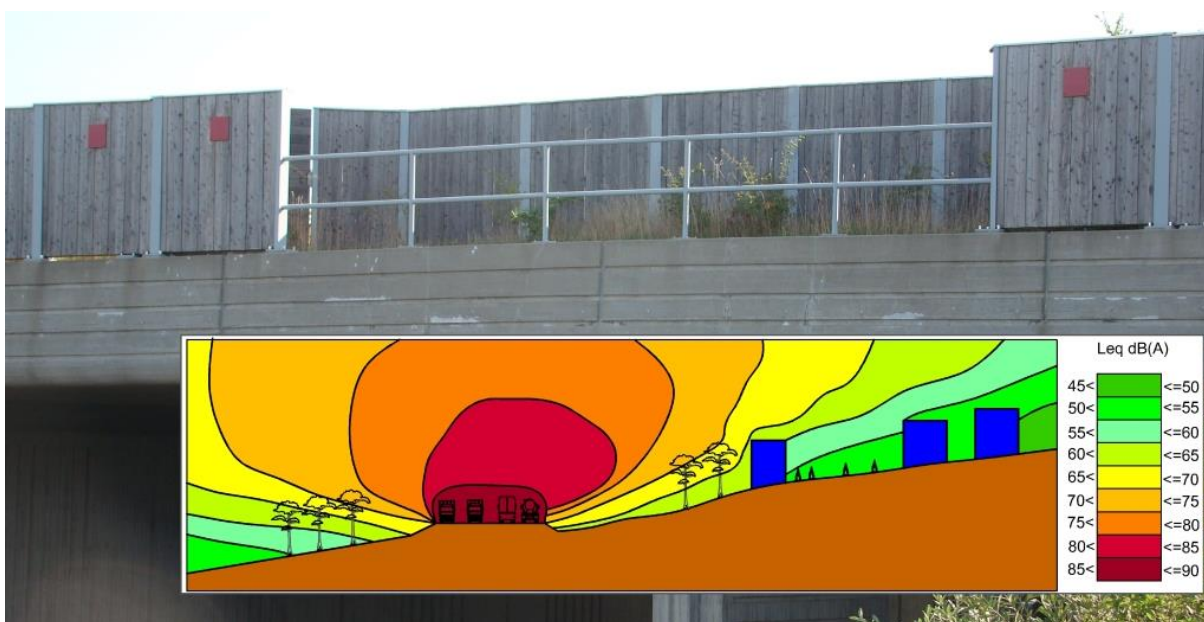


Ryc. 3.62. Roślinność osłonowa na niewielkim wale ziemnym przed ekranem, od strony jezdni, w okolicy przyczółku (prześwit pod ekranem wynosi ok. 0,1 m)



Ryc. 3.63. Ekran drewniany z loggią nad pasem dzielącym (autostrada A20 w Niemczech)

Nad przyczółkiem przed ekranem, od strony autostrady, zastosowane są niewielkie wały ziemne (o wysokości ok. 0,5 m), na których posadzona jest mało wymagająca roślinność, odporna na suszę i spaliny (ryc. 3.62). Podobne nieregularne wały (o wysokości do 0,5 m), obsiane roślinnością o bardzo małych wymaganiach, zastosowano również we wnęce (ryc. 3.63, 3.64). Wnęka w ekranie nad pasem dzielącym ma długość ok. 8–10 m i głębokość ok. 1,5 m. Wspomniana wnęka ma dość istotne znaczenie w tłumieniu hałasu za ekranem na powierzchni przejścia górnego. Rozkład hałasu drogowego w przekroju poprzecznym wskazuje, że nad pasem dzielącym hałas osiąga największe wartości (ryc. 3.64). Przerwanie propagacji dźwiękowej, osiągnięte dzięki zastosowaniu wnęki, jest bardzo istotne, gdyż za ekranem, pomiędzy niewielkimi nieregularnymi wałami a zagajnikami, na terenie przejścia odnotowano znacznie niższy poziom hałasu, co szczegółowo opisano w rozdz. 6. Zwraca uwagę zastosowanie wałów ziemnych na przedłużeniu ekranów, pełniących w strefie najścia funkcję naprowadzająco-osłonową.



Ryc. 3.64. Loggia nad pasem dzielącym i przykładowy rozkład poziomu hałasu drogowego w przekroju poprzecznym
Źródło: opracowanie graficzne na podstawie przykładowego rozkładu poziomu hałasu z programu Zefir [166].

Natomiast zasada stosowania ekranów przedłużonych tylko o 50 m od przyczółków obiektu, bez stosowania wałów ziemnych w przedłużeniu, zdaniem autorki jest mało skuteczna. Stosowane tylko odgięte ekrany nie mają bowiem przedłużenia, w związku z czym ekrany te nie pełnią istotnej funkcji przeciwhałasowej i przeciwosłoniowej, szczególnie gdy nie są uzupełnione wałami lub nasadzeniami (ryc. 3.65, 3.66). Ponadto szpara o wysokości kilkudziesięciu centymetrów pod dolną częścią ekranu, od jego cokołu, i brak wałów ziemnych powoduje, że przechodzi przez nią fala dźwiękowa i przenikają ją światła drogowe

(ryc. 3.66). Zgodnie z zaleceniami zawartymi w zagranicznych wytycznych ekrany, wały ziemne i nasadzenia naprowadzające powinny pełnić na przejściu górnym przede wszystkim funkcję osłonową przed światłami drogowymi; dopiero potem są rozpatrywane ich funkcje izolacyjne od hałasu i spalin. Należy podkreślić, że w prezentowanych na ryc. 3.65 i 3.66 przypadkach zwierzęta zbliżające się od strony lasu i od strony pól uprawnych nie mają żadnego naprowadzenia na przejście. Umieszczenie ekranu równoległe do krawędzi autostrady nie stanowi żadnej osłony dla dzikich zwierząt, chcących skorzystać z przejścia (ryc. 3.67 i 3.68).

Zgodnie z polskimi wytycznymi ekran od krawędzi przejścia powinien być usytuowany pod kątem 45° do osi podłużnej obiektu. Przez okres pięciu lat użytkowania przejścia zwierzęta wychodzące z lasu nie miały naprowadzenia na obiekt i były narażone na oślepienie reflektorami samochodów jadących po autostradzie (ryc. 3.67), więc jego funkcjonalność była wątpliwa. Po dziewięciu latach od oddania przejścia do użytku uzupełniono nasadzenia i uszczelniono tym samym samo przejście na przejście (ryc. 3.68).

Ważne podkreślenia jest to, że potwierdzenie funkcjonalności przejścia następuje na podstawie monitoringu. Między innymi do tego służy wąski pas piasku w środku przejścia (ryc. 3.67), na którym zwierzęta pozostawiają ślady. Uzupełnione nasadzenia po dziewięciu latach użytkowania obiektu już zazieleniły pozostawiony pas piasku. Według wytycznych [52] pas piasku powinien być pozostawiony tylko na określony czas – czas monitorowania. Zastosowane zabiegi związane z dodatkowymi uzupełniającymi nasadzeniami po dziewięciu latach od dnia oddania przejścia do użytku, szczególnie na stromych skarpach w strefie najścia, pozwoliły stworzyć warunki bardziej przyjazne dla zwierząt, w związku z czym funkcjonalność przejścia prawdopodobnie wzrosła.



Ryc. 3.65. Przykład ekranu, o długości 50 m, równoległego do drogi, przy braku jakiegokolwiek naprowadzenia (stan budowy)



Ryc. 3.66. Nieszczelne ekrany w miejscu zamocowania, równoległe do krawędzi drogi, przy braku naprowadzenia (stan gotowego obiektu tuż przed oddaniem do użytku)



Ryc. 3.67. Stan zagospodarowania strefy najścia i migracji po pięciu latach od oddania przejścia do użytku
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.68. Stan zagospodarowania strefy najścia i migracji po dziewięciu latach od oddania przejścia do użytku
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Inny przykład stosowania ekranów drewnianych na tej samej autostradzie wskazuje na prawidłowe ukształtowanie ekranu i naprowadzeń (ryc. 3.69, 3.70), choć rozwój roślinności trwał również dziewięć lat. Pomimo że ekrany kończą się w linii przyczółku i są ażurowe, czyli nie pełnią funkcji przeciwośluniowej, i pomimo że brakuje w strefie najścia nasadzeń na przedłużeniu ekranu oraz w strefie dojścia, po dziewięciu latach od momentu oddania przejścia do użytku stan nasadzeń w strefie najścia pozwala przypuszczać, że funkcjonalność przejścia się poprawiła.

Na świecie trwają aktualnie różne badania doświadczalne dotyczące rodzaju zastosowanego ekranu, jego ukształtowania względem pionu, a także skuteczności zastosowanych wałów ziemnych, gabionów, karpin i nasadzeń. W każdym przypadku zastosowane rozwiązanie powinno być potwierdzone monitoringiem, a to zawsze trwa kilka lat. Poniżej przedstawiono kilka przykładów z Holandii – kraju, w którym przeprowadza się pod tym względem prawdopodobnie najwięcej badań eksperymentalnych związanych z przejściami górnymi i ich poszczególnymi elementami (ryc. 3.71).



Ryc. 3.69. Stan zagospodarowania mostu zielonego po sześciu latach od oddania go do użytku
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.70. Stan zagospodarowania mostu zielonego po dziewięciu latach od oddania go do użytku
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Jako pierwszy przykład przejścia górnego można wymienić most zielony Tolhuis Moet w Holandii, wybudowany nad autostradą A50, koło Schaijk, na którym zastosowano ekrany drewniane w zupełnie innym układzie niż omawiane dotychczas (ryc. 3.71a). Na przejściu Tolhuis Moet np. eksperymentalnie zastosowano ekran drewniany z panelami pionowymi, umocowanymi w słupach metalowych typu H, o wysokości ok. 1,5 m, który umieszczony jest pionowo blisko krawędzi obiektu [64]. Przed nim od strony drogi umieszczony jest ukośnie (pod kątem ok. 60°) do poziomu rząd pojedynczych desek, o szerokości ok. 20 cm i różnej długości – od 1,7 do 2,2 m. Ukośne luźne deski są rozmieszczone wzdłuż całego obiektu co 20–30 cm (ryc. 3.71a).

Ukośne nachylenie ekranów drewnianych, skierowane do środka przejścia, zastosowano na przejściu Boerskotten wybudowanym w Holandii nad autostradą A1, w pobliżu Oldenzaal (ryc. 3.71b). Jednak w danym przypadku ekran z panelami umocowany jest w słupach metalowych typu H, o wysokości ok. 2,5 m, ukośnie (pod kątem ok. 45°) do osi przejścia. Zgodnie z opisem konstrukcji, przedstawionym w pracy [42], ekran należy umieszczać jak najbliżej krawędzi obiektu, by tym samym zwiększyć faktyczną szerokość przejścia przeznaczoną dla zwierząt. Za ekranem od strony przejścia posadzono gęsto rząd krzewów w celu stworzenia naturalności i wyciszenia hałasu oraz ograniczenia poziomu spalin. Na powierzchni przejścia posadzona jest trawa i krzewinki. Najście z obu stron lasu na obiekt tworzą wały ziemne, obsiane trawą, które łączą się szczelnie z zastosowanym ekranem. Wąska przestrzeń pomiędzy ekranem drewnianym a krawędzią konstrukcji obiektu, o szerokości ok. 1 m, zapewnia obszar dostępny dla służby drogowej na potrzeby wykonywania prac konserwacyjnych.

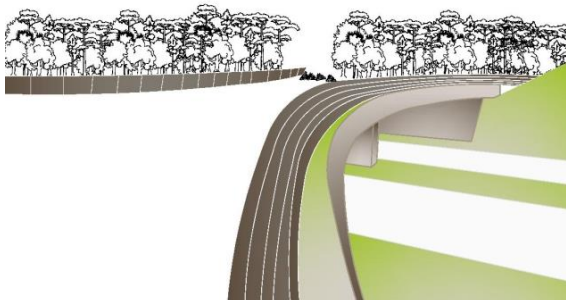
Na przejściu Waterloo w Holandii, nad autostradą A73, koło Beesel, ekran zbudowano z paneli drewnianych także umieszczonych w słupach metalowych typu H, ale ukośnie (pod kątem ok. 60°) i przechylonych

w stronę przejścia (ryc. 3.71c) [230]. Ekran ma wysokość ok. 2,5 m i odgradzony został od reszty terenu ogrodzeniem siatkowym. Ponad ekranem zamontowano oczepy metalowe wystające ponad ekran na wysokości ok. 40–50 cm. Zaraz przy ogrodzeniu zastosowano nasadzenia, za którymi ułożono wał z karpin i pni drzew, o wysokości ponad 1,5 m. Wszystko to specjalnie uformowane jest chaotycznie, imitując naturalne warunki leśne.

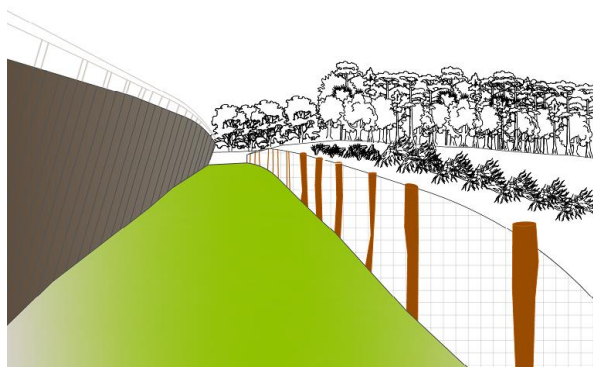
a) przykład podwójnego ekranu drewnianego zastosowanego na przejściu Tolhuis Moet



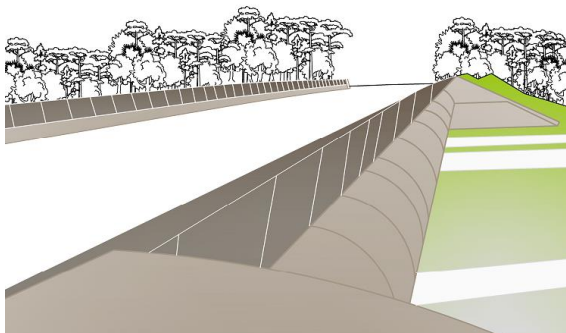
b) przykład ekranu drewnianego na przejściu Boerskotten, nachylnego w kierunku przejścia



c) przykład ekranu drewnianego, z oczepem metalowym wystającym ponad ekran, zastosowanego na przejściu Waterloo



d) przykład ekranu drewnianego, odgiętego w stronę zewnętrzną przejścia, zastosowanego na przejściu Slabroek



Ryc. 3.71. Ukształtowanie ekranów drewnianych zastosowanych eksperymentalnie w Holandii
Źródło: opracowanie graficzne na podstawie [136].

Jeszcze innym ekranem, zastosowanym eksperymentalnie w Holandii, jest ekran na przejściu Slabroek, wybudowany nad autostradą A50, koło wsi Slabroek. Tym razem ekran zbudowano z paneli drewnianych, także umieszczonych w słupach metalowych typu H (ukośnie pod kątem ok. 60°), przechylonych na zewnątrz przejścia w kierunku jezdni (ryc. 3.71d).

Na razie trwają pomiary poziomu hałasu, poziomu spalin i monitoring w celu oceny dotyczącej akceptacji przejść przez zwierzęta [136], można więc stwierdzić, że eksperymentowanie z ukształtowaniem ekranów trwa nadal. Ze wstępnego monitoringu wynika [136], że pierwsze zwierzęta (sarny, daniele, zające i in.) skorzystały z przejścia, jak tylko skończono jego budowę.

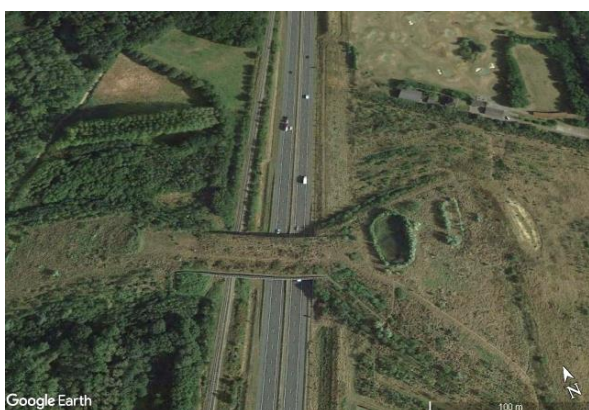
Jak wykazują kolejne publikacje ekologów holenderskich [24, 230], przejścia są funkcjonalne, a inaczej ukształtowane ekrany znacznie wpływają na obniżenie poziomu hałasu, gdyż każde przerwanie propagacji fali dźwiękowej jest skuteczne. Nierówna powierzchnia ekranów (ryc. 3.71a, c) stanowi właśnie taką charakterystyczną przeszkodę, choć różnica w wysokości poszczególnych elementów składowych jest nieduża. Podobną przerwę w propagacji fali dźwiękowej stanowią ekrany przedstawione na ryc. 3.71b, d, gdyż obejmują one trzy kolejne przeszkody: zaokrągloną szeroką krawędź obiektu, ekran drewniany i rząd

nasadzeń krzewów. Różnica zasadnicza pomiędzy analizowanymi ekranami polega na ich odchyleniu od pionu. Wydaje się, bez danych szczegółowych z badań rozkładu poziomego hałasu na powierzchni analizowanych mostów zielonych, ale na podstawie innych badań rozkładu poziomego hałasu, że różnica może mieścić się w granicach 1–2 dB(A).

Ze względu na utrzymanie bardziej praktyczny jest ekran przedstawiony na ryc. 3.71b, gdyż zapewnia przejście technologiczne odpowiednim służbom, bez naruszania terenu przeznaczonego dla zwierząt. Jeśli chodzi o ekran przedstawiony na ryc. 3.71d, odchylenie na zewnątrz stanowi swoistą przeszkodę i odbija część fali dźwiękowej w kierunku jezdni, w związku z czym też powinien on być skuteczny w redukcji poziomego hałasu, choć 5jego wysokość nie jest duża.

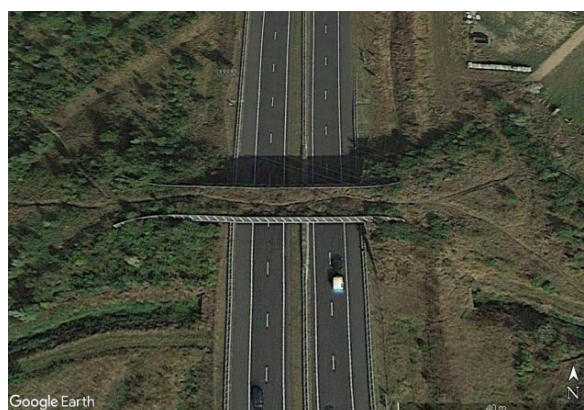
Do wysokości stosowanych ekranów odnoszą się podstawowe zalecenia zawarte w COST 341 [42], w których podkreśla się, że wysokość ekranów stosowanych na przejściach górnych węższych niż 20 m nie powinna być większa niż 2 m, gdyż mogą one źle wpływać na zwierzęta, wywołując efekt „tunelu”. Natomiast na przejściach szerszych niż 50 m nie zachodzi potrzeba stosowania ekranów, natomiast należy stosować wały ziemne obsadzone żywopłotami. Ponadto w wytycznych [42] podkreśla się, że najważniejszą funkcją ekranu jest osłona przed światłami drogowymi.

Warto w tym miejscu wspomnieć jeszcze inne eksperymenty prowadzone w Holandii. Na przykład na przejściu Waterloo, wybudowanym nad autostradą A73 w Holandii w pobliżu wsi Beesel [233], w różny sposób ukształtowano ekrany drewniane; bada się także różne najścia i sposoby zakończenia ekranów. Na przykład na ww. przejściu ekran z zachodniej strony autostrady kończy się w linii przyczółku, a z wschodniej strony jest odgięty pod kątem 45° od osi podłużnej obiektu (ryc. 3.72) i jest przedłużony poza przyczółek o 50 m. Najścia z obu stron mają długość po 150 m, jednak rzędne otaczającego terenu po zachodniej stronie są równe z rzędnymi przejścia, a po wschodniej stronie są równe z rzędną autostrady. Nasadzenia naprowadzające po wschodniej stronie są wykonane wzdłuż odgiętego ekranu po obu stronach przejścia, a z zachodniej strony obiektu nasadzenia dochodzą bezpośrednio do ekranu. Drugie przejście nad autostradą A73, w pobliżu wsi Beese, ma szerokość faktyczną równą tylko 9,5 m, ale ma podobne kształty i zagospodarowanie po obu stronach przejścia (ryc. 3.73). W tym przypadku jednak ekrany kończą się po obu stronach w linii przyczółku. Na terenie obu przejść górnych, obsianych głównie trawą, zastosowane są wzdłuż obu ekranów nasadzenia niewysokich krzewów. Dodatkowo po jednej stronie przejścia jest uformowany szeroki na 3 m pas, z ciasno ułożonych karpin niewielkich drzew i krzewów, dając schronienie mniejszym zwierzętom. Zastosowane naprowadzanie i ekran stanowią dobrą ochronę osłonowo-izolacyjną dla zwierząt w strefach dojazdu, najścia i na samym przejściu, a także w pobliżu oczek wodnych wybudowanych na szerszym przejściu (ryc. 3.72).



Ryc. 3.72. Most zielony, o szerokości ok. 40 m, ze zróżnicowanymi ekranami i dobrze uformowanymi wałami ziemnymi w strefie najścia (stan trzy lata po oddaniu do użytku)

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.73. Przykład mostu zielonego, o szerokości faktycznej równej ok. 9,5 m, z krótkimi ekranami i z ich przedłużeniem w postaci wałów ziemnych z nasadzeniami różnorodnych krzewów

Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

We Francji również prowadzi się wiele eksperymentalnych badań dotyczących ekranów drewnianych [195]. Badania prowadzone są na przejściu górnym, wybudowanym nad autostradą A5, przy zastosowaniu ekranu podobnego do przedstawionego na ryc. 3.71a, z tą tylko różnicą, że w danym przypadku deski zewnętrzne nie są zróżnicowane wysokościowo, a ułożone poziomo, z odgięciem w kierunku jezdni i z przerwami stopniowanymi co 30–50 cm, w zależności od poziomu danego skosu [195]. W danym przypadku fala dźwiękowa, rozprzestrzeniając się od autostrady, napotyka na liczne przerwy pomiędzy poszczególnymi stopniami poziomych desek, w związku z czym skuteczność takiej konstrukcji ekranu w tłumieniu hałasu jest bardzo duża. Również oddalenie ekranu o 1 m w od zewnętrznej krawędzi przyczółku oraz obniżenie dolnych partii poziomych desek pomiędzy przyczółkami odgrywa bardzo istotną rolę w tłumieniu hałasu drogowego. Trzeba jednak podkreślić, że koszt wykonania takiego ekranu jest wysoki.

Warto również podkreślić, że w przypadku przytoczonych wyżej mostów zielonych, z różnorodnymi ekranami drewnianymi, kolejnym krokiem eksperymentowania jest zagospodarowanie terenu przejścia. Na przykład na przejściach Waterloo (ryc. 3.72) i Tolhuis Moet (ryc. 3.73) Holendrzy wybudowali wały ziemne na przedłużeniu ekranów i obsiali je tylko trawą. Karpiny i pnie uschniętych drzew rozlokowano w sposób nieuporządkowany w strefie najścia na obiekt i na powierzchni przejścia. Po kilku latach użytkowania, w wyniku samoistnej ekspansji i rozwoju okolicznej roślinności, przejścia się zazieleniły, tworząc leśne polany. Dane z badań monitoringu potwierdzają skuteczność obu przejść [136, 230].

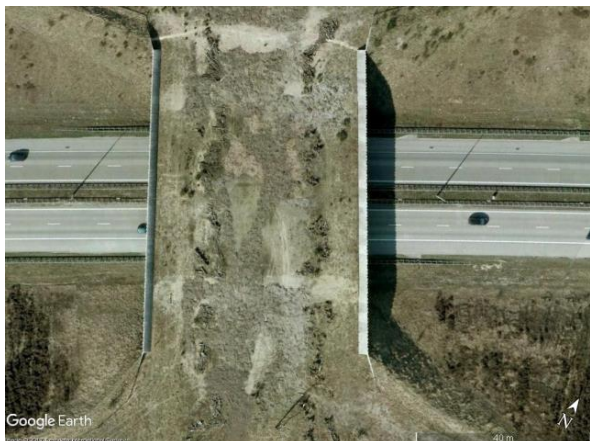
Przeciwstawne rozwiązanie konstrukcji ekranów drewnianych zastosowano na czterech mostach zielonych wybudowanych nad autostradą A36 we Francji (ryc. 2.32–2.35). Mosty są wąskie, ich najmniejsza szerokość użytkowa waha się w granicach od 7,5 m do 14 m. Przy krawędzi obiektu są posadzone gęsto różnorodne krzewy tworzące żywopłoty. Na zewnątrz obiektu są rzadko, co 1–2,5 m, rozmieszczone drewniane słupy nośne, o wysokości ok. 3 m, w kształcie łuków skierowanych do środka mostu, do których przymocowane są poziome deski do wysokości 1 m (ryc. 4.43). Poziome deski ekranów są umieszczone z przerwami. Nie zważając na ażurowe ekrany drewniane i bardzo wąskie faktyczne szerokości mostów, przejścia są bardzo funkcjonalne, co potwierdził monitoring [195].

Podsumowując przegląd mostów z ekranami drewnianymi, należy podkreślić, że w procesie projektowym należy zadbać o szczelne połączenie odgiętych pod kątem 45° ekranów z wałami ziemnymi pełniącymi funkcję naprowadzająco-osłonową. Drugim czynnikiem uwzględnianym w procesie projektowym jest zróżnicowanie wysokości i nachylenia ekranów w stosunku do pionu lub stosowanie loggii w celu jak największego załamania propagacji fali dźwiękowej nad jezdniami. Ostatnie wyniki monitoringu [24, 230] potwierdzają bardzo dobrą funkcjonalność przejść, na których eksperymentowano z różnorodnymi ekranami i zagospodarowaniem. Jak wynika z badań, przy bardzo dobrze dobranej lokalizacji przejścia z ekranami drewnianymi nie zachodzi potrzeba bogatego zagospodarowania strefy najścia i migracji. Natomiast należy zadbać o uformowanie wałów ziemnych naprowadzających na przejście i o ich szczelne połączenie z ekranem. W strefie migracji należy natomiast ułożyć karpiny, pnie ściętych drzew i ewentualnie zasiać trawę. Jeśli są to mosty krajobrazowe, to nad krawędziami obiektu wystarczy uformować wały ziemne i posadzić na nich krzewy [24, 42, 93, 136, 230].

Na podstawie analizy oceny mostów z ekranami drewnianymi można stwierdzić, że każde zróżnicowanie ich kształtów i wysokości, różne ukształtowanie pionowe powoduje przerwanie propagacji fali dźwiękowej, dając oczekiwany skutek w postaci wyciszenia. Również obsianie trawą powierzchni w strefie migracji zaraz za ekranem, pomiędzy nim a ogrodzeniem siatkowym także bardzo dobrze wpływa na zwiększone pochłanianie hałasu drogowego.

Po ekranach drewnianych drugą grupę stanowią ekrany betonowe. Na przykładowym przejściu Leusderheide, wybudowanym nad autostradą A28 w Holandii (ryc. 3.76), zastosowano nie tylko inne, niż tradycyjne, ekrany betonowe [93, 230]. Tym razem są to ekrany odchylone w kierunku jezdni. Podstawową jednak różnicę stanowi sama konstrukcja żelbetowa, w kształcie rozciągniętej litery „U” (ryc. 3.74, 3.75). Żelbetowa konstrukcja uformowana została równocześnie z kielichowo odgiętym ekranem. Obiekt oddany

do użytku w strefie migracji miał tylko rozłożony nierównomiernie grunt, powałdowany specjalnie w niewielkie wały o wysokości 0,3–0,7 m, oraz chaotycznie ułożone karpiny i kawałki pni tworzące nieregularne wały (ryc. 3.74). W 2005 r. na przedłużeniu ekranów uformowano wały ziemne, tworzące szczelną ochronę osłonowo–izolacyjną, które po 11 latach zazieleniły się gęstą zielenią i krzewami (ryc. 3.75). Ciągły monitoring wybudowanego przejścia wykazuje jego dużą skuteczność. Prawdopodobnie przyczynia się do tego bardzo przyjazne zwierzętom zagospodarowanie powierzchni – zarówno w strefach dojścia i najścia, jak i na terenie przejścia [64].



Ryc. 3.74. Most zielony Leusderheide w Holandii (stan z 2005 – cztery lata po oddaniu do użytku)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.75. Most zielony Leusderheide w Holandii (stan w 2012 – 11 lat po oddaniu do użytku)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

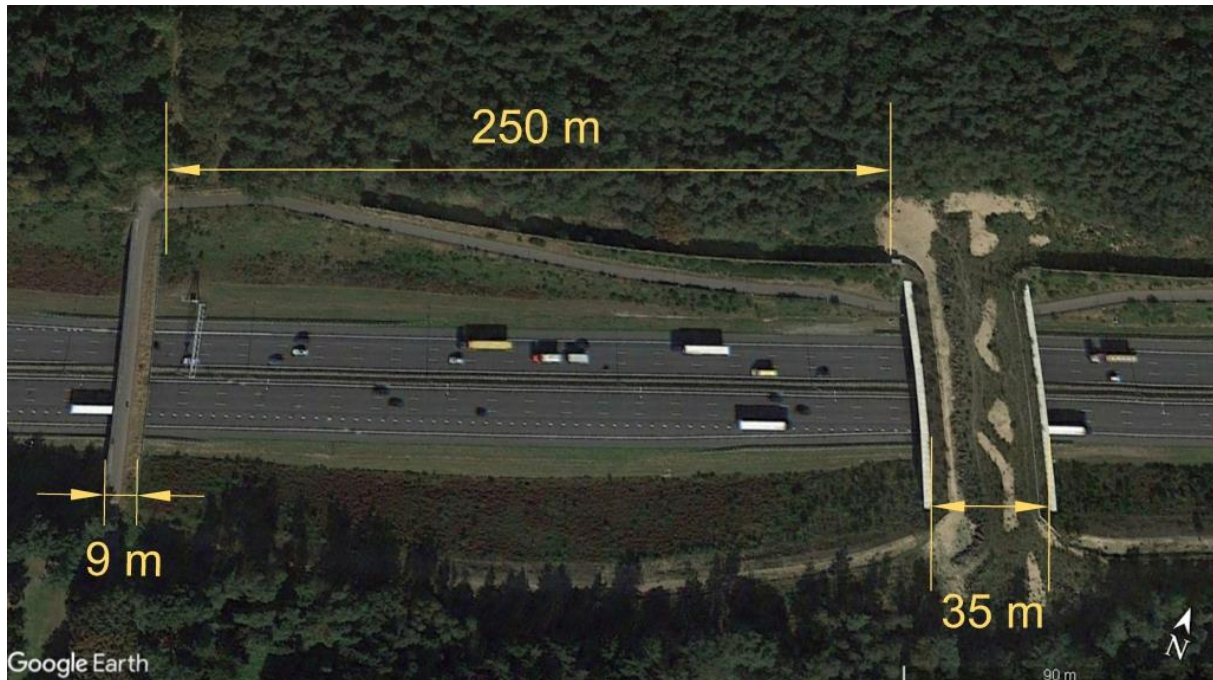


Ryc. 3.76. Kształt konstrukcji obiektu i zagospodarowanie jego powierzchni, będące kolejnym elementem doświadczalnym (most zielony Leusderheide nad autostradą A28)

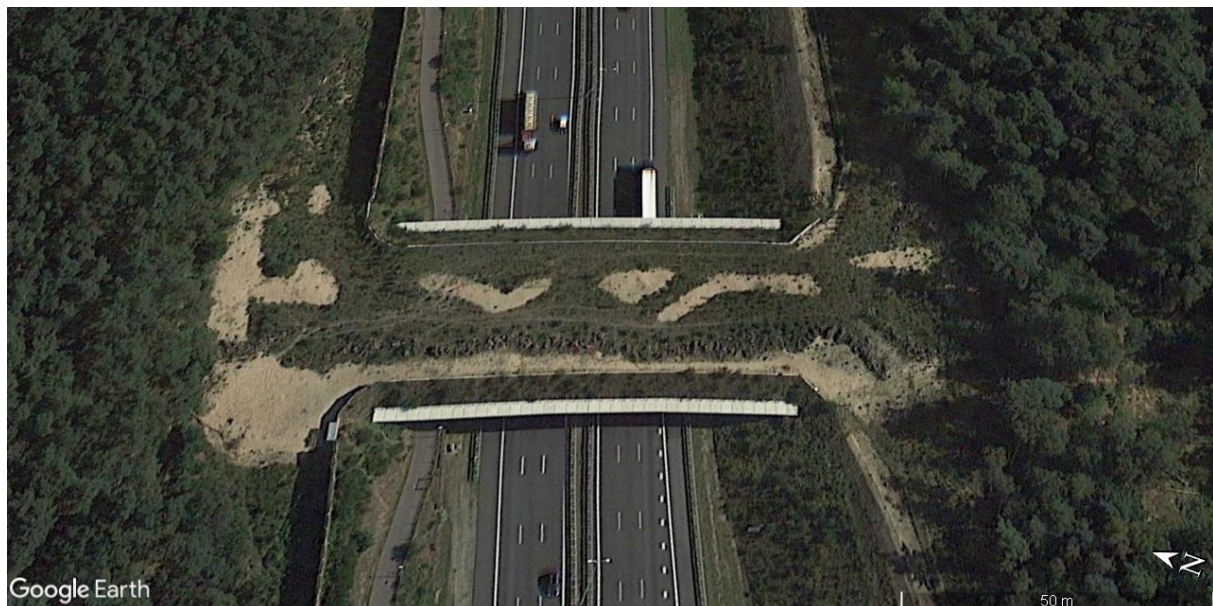
Kolejnym obiektem podlegającym eksperymentom ekologicznym było wąskie przejście zespolone wybudowane nad autostradą A28 w Holandii w kompleksie leśnym (ryc. 3.77). Ponieważ wąski most zielony zespolony był mało wystarczający, wybudowano nowy most zielony – w odległości 250 m od starego wąskiego przejścia zespolonego (ryc. 3.68). Nowe przejście nad autostradą A28 wybudowano w technologii i konstrukcji takiej jak w przypadku mostu zielonego Leusderheide (ryc. 3.78). Kształt konstrukcji obiektu w kształcie litery „U”, odgięty kielichowo na zewnątrz, stanowi jednocześnie ekran. Podobnie jak w poprzednich przypadkach (ryc. 3.76), od razu konstrukcję obiektu połączono ściśle z uformowanymi wałami ziemnymi. Przy jego krawędziach uformowano wysokie na 4 m wały ziemne. Na powierzchni przejścia znajdują się nieregularne niewysokie wały ziemne nieobsiane trawą. Podobnie jak na przejściu Tolhuis Moet i Waterloo, na powierzchni przejścia ułożono bardzo gęsto szeroki stos karpin (o szerokości

ok. 4 m, wysokości ponad 2 m). Ponadto istniejącą ścieżkę gruntową na górze skarpy, pomiędzy starym a nowym przejściem, oddzielono od autostrady drewnianym ogrodzeniem i pasem dwurzędowo posadzonych krzewów (ryc. 3.77).

W Niemczech z ekranami betonowymi raczej się nie eksperymentuje, natomiast wykorzystuje się tradycyjną technologię ich wykonania. Z reguły są to ekrany wykonane z płyt betonowych prefabrykowanych (ryc. 3.79).



Ryc. 3.77. Dwa mosty zielone nad autostradą A28, z ekranami betonowymi (oddalone od siebie o 250 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.78. Konstrukcja ekranu betonowego na moście zielonym i zagospodarowanie strefy migracji (stan trzy lata po oddaniu mostu do użytku)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W danym przypadku przed ekranem betonowym znajduje się pas, o szerokości ok. 3 m, na którym uformowane są niewielkie wały ziemne, o wysokości do 0,5 m; na nich posadzona jest różnorodna roślinność o bardzo małych wymaganiach, tj. odporna na mróz, suszę i spaliny (ryc. 3.80). Z reguły ekran betonowy zasłonięty jest od strony przejścia niewysokimi wałami i posadzonymi na nich lub przed nimi różnorodnymi krzewami; dodatkowo ekran może być zasłonięty przez bluszcz (ryc. 3.81). Jednak w Niemczech prawie wszystkie przejścia górne, na których zastosowano ekrany betonowe, kończą się z reguły w linii przyczółku, a na jego przedłużeniu zawsze są usypane wały ziemne wysokości ekranu. Wały ziemne przeważnie obsiane są trawą, a przed nimi i za nimi posadzona jest różnorodna roślinność. Na prawie wszystkich przejściach górnych w Niemczech, niezależnie od tego, czy są one zlokalizowane na powierzchni terenu czy nieznacznie wyżej, niż otaczający je teren, zawsze bardzo bogato i różnorodnie są stosowane na skarpach przyczółku nasadzenia odpowiednich krzewów (ryc. 3.80–3.83). Ten sposób stosowania ekranów betonowych, połączonych z wałami ziemnymi i nasadzeniami, zapewnia mikroklimat na przejściu przyjazny zwierzętom, ponieważ powoduje zmniejszenie hałasu drogowego, ilości spalin i ochronę przed światłami drogowymi.



Ryc. 3.79. Ekran betonowy z płyt prefabrykowanych na przejściu górnym w Niemczech (o wysokości 3 m)



Ryc. 3.80. Niewysokie wały ziemne, porośnięte niewymagającą roślinnością, uformowane przed ekranem
Źródło: fot. Mariusz Schab [184].



Ryc. 3.81. Ekran betonowy osłonięty wałem i roślinnością z zewnątrz, a bluszczem od strony przejścia
Źródło: fot. Mariusz Schab [184].

W podsumowaniu dotyczącym ekranów betonowych warto podkreślić korzystne stosowanie wałów ziemnych – zarówno przed, jak i za ekranem. Od strony jezdni przy prostokątnych ekranach z prefabrykatów stosuje się półki, o szerokości do 2 m, na których formowane są niewysokie wały ziemne obsadzone roślinnością.

Od strony strefy migracji również stosuje się wały ziemne, jednak o zróżnicowanej wysokości i różnorodnym zagospodarowaniu (ryc. 3.82, 3.83). W danym przypadku najistotniejsze jest szczelne połączenie ekranu betonowego z wałem ziemnym naprowadzającym. Należy podkreślić, że na powierzchni przejścia z ekranami betonowymi trzeba uformować wały ziemne z posadzonymi na nich krzewami lub zastosować gęste nasadzenia zasłaniające ekran (czyli „sztuczny element” na przejściu), które przez zwierzęta powinny być traktowane jako naturalne połączenie pociętych dróg siedlisk.

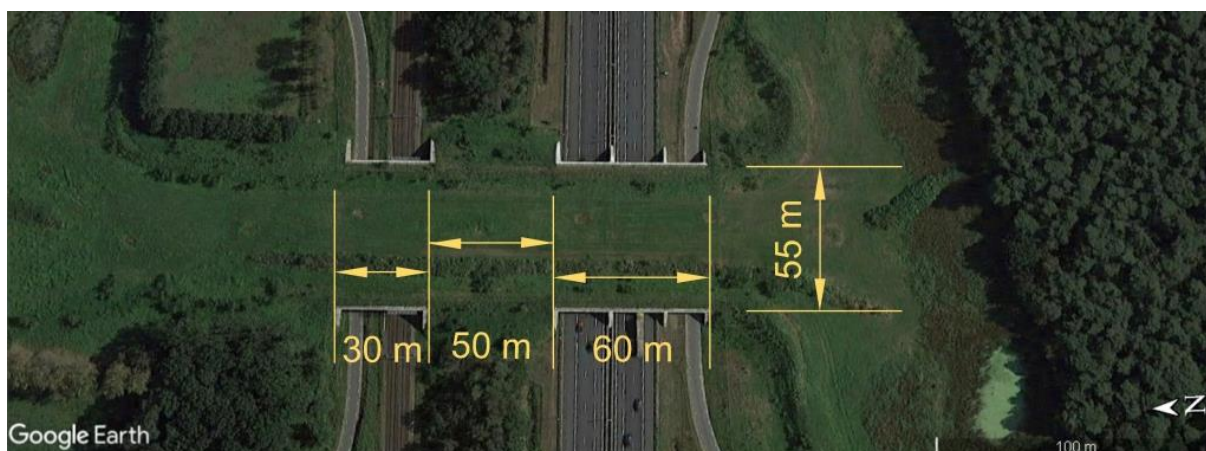


Ryc. 3.82 Ekran betonowy połączony szczelnie z wałami ziemnymi, stanowiącymi równocześnie naprowadzenia (stan z 2008 r. – cztery lata po budowie)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.83. Roślinność po kilku latach eksploatacji obiektu, osłaniająca ekran betonowy i porastająca wały ziemne (stan z 2018 r. – 14 lat po budowie)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W Holandii prowadzi się także eksperymenty z ekranami ze szkła akrylowego i z ewentualną ich osłoną uformowaną z gabionów. Na ryc. 3.84 przedstawiono przejście Rumelaar wybudowane w 2013 r. nad autostradą A12 i dwutorową linią kolejową. Pod przejściem wzdłuż autostrady poprowadzono również drogę lokalną Haarweg, a wzdłuż linii kolejowej – drogę lokalną Rumelaarsweeg. Przyjęte rozwiązanie znacznie wydłużyło długość przejścia (do ok. 140 m), co przy jego szerokości (ok. 55 m) dało współczynnik względnej ciasnoty równy 0,4. Jednak przy podwójnym obiekcie rozdzielonym pasem zieleni, o szerokości 50 m, spełniają one podstawowy warunek ekologiczny, ponieważ długość przejścia nad autostradą A12 wynosi 60 m, czyli $w/l = 0,92$, a długość przejścia nad linią kolejową jest równa 30 m, czyli $w/l = 1,1$.



Ryc. 3.84. Most zielony Rumelaar, z ekranami ze szkła akrylowego (stan trzy lata po oddaniu do użytku)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W danym przypadku zastosowano ukośnie ukształtowane ekrany ze szkła akrylowego, skierowane do osi przejścia [4], a za ogrodzeniami na niewysokich wałach, o wysokości ok. 0,5 m, posadzono małe krzewy – tylko wzdłuż ekranów. Pozostała część przejścia ma powierzchnię obsianą tylko trawą. Ekrany ze szkła akrylowego są wybudowane tylko na długości przejścia nad linią kolejową. Po obu stronach przejścia, w pobliżu lasu, dbając o krajobraz hydrograficzny, utworzono duże oczka wodne. Charakterystyczne są w danym przypadku naprowadzenia ukształtowane nieregularnie, ale szczelnie jednak połączone z ekranem, co zapewniło w strefie dojścia funkcję osłonową i izolacyjną.

Na przejściu Rumelaar zwraca szczególną uwagę sposób rozdzielania różnego rodzaju komunikacji (ryc. 3.84). Drogi lokalne, usytuowane po obu stronach autostrady oraz linii kolejowej, przebudowano i zrównano z dolnym poziomem, unikając w ten sposób dodatkowych przeszkód dla zwierząt w strefie dojścia do obiektu na górnym poziomie. Przyczyniło się to do wydłużenia przejścia, jednak zastosowana przerwa pomiędzy obiektami, o szerokości 50 m, tworząca dobre „zielone” rozgraniczenie, pozwoliła osiągnąć dobre parametry ekologiczne, gdyż w każdym przypadku współczynnik względnej ciasnoty przejścia jest większy niż minimalna jego wartość równa 0,8.

Przy omawianiu ekranów ze szkła akrylowego, przeciwhałasowych i przeciwołśniowych, należy wspomnieć o dwóch jeszcze przejściach w Holandii, nad autostradą A50. Na obu przejściach zastosowano również ukośne ekrany ze szkła akrylowego (o wysokości 2 m na jednym z obiektów i 3 m na drugim), za nimi w ramach eksperymentu ułożono pionowo gabiony – na wysokość 3 m na pierwszym (ryc. 3.85) i 2 m na drugim. Celem eksperymentalnych badań była analiza wpływu na reakcje zwierząt zarówno wysokości gabionów, jak i samo użycie gabionów w funkcji osłonowej [70]. Ekrany szklane kończą się w linii przyczółku, a gabiony przedłużono poza nią o kilka metrów. Do naprowadzenia w strefie najścia zastosowano tylko karpiny ułożone gęsto obok siebie z kawałkami ziemi i z rosnącą na niej roślinnością. Naprowadzenie uformowane z karpin z grudkami ziemi już w kolejnych latach zaczęło zamieniać się w wał ziemny, tworząc dobrą osłonę izolacyjną strefy migracji (ryc. 3.85). Zwraca szczególną uwagę dbałość o zagospodarowanie skarp w najbliższym otoczeniu przyczółków, co znacznie przyczynia się do zmniejszenia hałasu drogowego i ilości spalin.



Ryc. 3.85a. Stan przejścia Wolfheze zaraz po zakończeniu budowy
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 3.85b. Stan przejścia Wolfheze po trzech latach od zakończenia budowy
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Zarówno więc w Holandii, na przedstawionych powyżej przejściach, jak i w wytycznych australijskich [220] potwierdza się konieczność stosowania nie pionowych, a pochylonych ekranów. Dodatkowo w wytycznych australijskich zaleca się, by w przypadku stosowania ekranów ze szkła akrylowego odchyłać je od pionu o 5° [220]. Jeśli stosuje się przy tym wewnątrz szkła nici poliamidowe, to uprzedzają one ptaki o przezroczystej przeszkodzie na trasie ich lotu. W wytycznych nie zaleca się naklejania na ekrany specjalnie wyciętych ptaków, gdyż to rozwiązanie okazało się mało skuteczne. Natomiast odchylenie ekranów ze szkła

akrylowego, z umieszczonymi w nich nićmi poliamidowymi, jest coraz popularniejsze w Europie, jednak rozwiązanie to najczęściej stosuje się przy drogach znajdujących się nad przejściami dolnymi. Szklane ekrany rzadko stosuje się na przejściach górnych. Jednak te osobliwości warto było przytoczyć ze względu na eksperymenty z nimi związane.

Innym rodzajem ekranów, powszechnie stosowanych w Polsce na przejściach górnych, są ekrany kasetowe wykonane z PVC (ryc. 3.86). Niestety, na przejściach górnych w Polsce już wybudowanych ekrany nie zawsze mają przedłużenie w postaci nasadzeń naprowadzających czy wałów ziemnych (ryc. 3.87, 3.88). Trzeba podkreślić, że przy braku osłon naprowadzających i przy otwartym otaczającym terenie rolniczym warunki na prezentowanym przejściu górnym nie są przyjazne dla zwierząt.



Ryc. 3.86. Przykład przejścia zespolonego z ekranami kasetowymi z PCV kończącymi się w linii przyczółku

Ekran z PCV zmniejsza poziom hałasu tylko w środkowej części strefy migracji, natomiast do miejsc, znajdujących się w najściach z obu stron na obiekt, hałas drogowy dociera bez przeszkód (ryc. 3.88). Brak jakichkolwiek nasadzeń naprowadzających i osłonowych na skarpach przyczółków wpływa również na dużą ilość spalin w strefie najścia na obiekt i na jego powierzchni (ryc. 3.87, 3.88). Na terenie przejścia strefa migracji zajmuje znaczną szerokość, jednak krzywoliniowa trasa drogi lokalnej na obiekcie powoduje (ryc. 3.87), że zwierzęta dwa razy przekraczają drogę na powierzchni samego przejścia. W danym przypadku należało, zgodnie z zaleceniami zawartymi w podstawowych poradnikach projektowych dotyczących ochrony środowiska, zarówno krajowych, jak i zagranicznych, zlokalizować drogę w pobliżu północnej krawędzi obiektu, a naprowadzenia na obiekt wykonać w postaci wałów ziemnych, szczelnie połączonych z ekranem, podobnie jak na ryc. 3.79. Choć ułożono na trawie na powierzchni przejścia kilkanaście luźnych karpin, to nie poprawiło to jego funkcjonalności. W trakcie licznych wizyt lokalnych na obiekcie nie stwierdzono żadnych śladów zwierząt.



Ryc. 3.87. Przejście zespolone i nieprawidłowo wytrasowana drogi żwirowa na terenie obiektu [163]



Ryc. 3.88. Wolne od nasadzeń skarpy przyczółku nietworzące żadnej osłony i izolacji

Reasumując różne doświadczenia z zastosowanymi ekranami, trzeba stwierdzić, że należałoby poczekać na analizy wyników monitoringów, jednak one mogą obejmować nawet kilka lat, gdyż tyle mniej więcej czasu może minąć, zanim zwierzęta zaakceptują dane przejście. Wydaje się, że jeśli przejście górne jest wybudowane na ścieżce migracyjnej, to są zapewnione korzystne warunki biotyczne, abiotyczne, krajobrazu hydrograficznego i że jeżeli przejście ma zachowane warunki naturalne, to tym szybciej zwierzęta je zaakceptują. Do naturalnych warunków można zdecydowanie zaliczyć przede wszystkim uformowane wały ziemne, rozłożone karpiny lub pnie ściętych drzew i zastosowane ekrany drewniane. W związku z tym, jeśli te trzy elementy odgradzają zwierzęta od drogi, to szybciej zaakceptują one dane przejście, przy dobrze dobranej lokalizacji. Dopiero w drugiej kolejności można przyjąć przejście z ekranami betonowymi zasłoniętymi wałami i nasadzeniami. Ekran z PCV lub szklane nie tworzą na przejściu górnym naturalnych warunków dla zwierząt i z tego względu nie powinno się ich ani zalecać, ani budować. Z ogólnych ocen ww. przejść wynika, że oprócz naturalności przejścia drugim zasadniczym warunkiem jego akceptacji jest zachowanie szczelności naprowadzenia i połączenia go z ekranem.

Ważnym czynnikiem w doborze typu ekranów jest także ich koszt. Te zagadnienia szczegółowo przedstawiono w artykule [189]. Scharakteryzowano w nim redukcję hałasu osiągniętą w wyniku zastosowania danego rodzaju ekranu, a także podano jego koszt na 1 m². Analiza danych [189] wskazuje, że na przejściach górnych z ekonomicznych względów najlepsze okazały się wały ziemne, których wykonanie jest najtańsze, przy możliwości redukcji hałasu drogowego nawet do 25 dB(A). Te wnioski o redukcji poziomu hałasu w wyniku zastosowania wałów ziemnych autorka niniejszego opracowania również potwierdziła w badaniach prowadzonych na przejściach górnych, co szczegółowo zostało opisane w rozdz. 6.

Analiza powyższych przykładów wskazuje, że nie ma jednego rozwiązania – *aurea mediocritas* dotyczącego ekranów. Powyżej przytoczone przykłady mają charakter studialny i mają być źródłem inspiracji zarówno dla projektantów, jak i wykonawców. Trzeba bowiem podkreślić, że nie ma jednego dobrego rozwiązania w odniesieniu do wszystkich przejść górnych. Każde rozwiązanie zależy od wielu czynników terenowych, tj. warunków biotycznych i abiotycznych, aktualnej technologii, a przede wszystkim od potrzeb środowiskowych potwierdzonych w monitoringu. Może być tak, że w jednym przypadku wąskie przejście, z ekranami drewnianymi, wałami i słabym zagospodarowaniem, będzie funkcjonalne i skuteczne, a inne, szerokie, przejście, z bogatym zagospodarowaniem, ale nie zawsze z dobrze ocenionymi warunkami środowiskowymi, okaże się w efekcie mało funkcjonalne.

3.8. Nowa generacja przejść górnych

Największe wymagania odnośnie do wymiarów przejść górnych mają duże ssaki kopytne – łosie i jelenie (tab. 2.1) [111, 133]. Z przejść górnych najbardziej skuteczne i uniwersalne rozwiązania (czyli wykorzystywane przez najwięcej gatunków zwierząt) stanowią obiekty o minimalnej szerokości > 35,0 m, tj. w największym miejscu, czyli mosty zielone i mosty krajobrazowe.

Według polskich wytycznych [111, 121] przejście górne typu zielony most może być zrealizowane w formie wiaduktu nad autostradą lub drogą ekspresową. Budowa takich przejść jest zalecana przede wszystkim dla przemieszczania się dużych ssaków kopytnych. Zalecana szerokość mostu zielonego, mierzona w największym miejscu obiektu, powinna się zawierać w granicach 35–80 m, szerokość przejścia powinna się zwiększać płynnie (parabolicznie) w kierunku od środka obiektu do najścia nad przyczółkiem. Stosunek szerokości do długości przejścia powinien mieć wartość > 0,8 (tab. 2.1). Natomiast przejścia górne typu most krajobrazowy zaleca się budować na obszarach szczególnie cennych przyrodniczo. Szerokość minimalna mostu krajobrazowego w największym miejscu przejścia powinna wynosić ≥ 80 m [111, 121].

Przy ww. wymaganiach dotyczących szerokości przejścia w Polsce i za granicą wybudowano wiele przejść górnych. Cały czas trwają obserwacje ekologiczne i prowadzony jest monitoring w celu poznania zachowania zwierząt i oceny funkcjonalności wybudowanych obiektów. Na podstawie poszczególnych badań i monitoringu są opracowywane raporty i na ich podstawie formułowane są nowe wskazówki pomocne w ewentualnym poprawianiu funkcjonalności danego przejścia. Stosowane obiekty habitatowe są, niestety, kosztowne, duże i nie do końca wiadomo, czy przyjazne zwierzętom, gdyż zmuszają je do przejścia czasem wąskim pasem pośrodku mostu, w otoczeniu niekoniecznie im znanym i akceptowanym. Również kierowcy nie zawsze pozytywnie oceniają duże obiekty habitatowe ze względu na ich ciężkość, pogorszenie warunków widoczności i czasami wątpliwą atrakcyjność przestrzenną.

Tym zagadnieniom wyszła naprzeciw inicjatywa ARC (International Design Competition), która zorganizowała konkurs International Wildlife Crossing Structure wśród wybitnych architektów krajobrazów, architektów, konstruktorów i ekologów z myślą przewodnią zaproponowania modelu obiektu autostradowego przeznaczonego dla zwierząt [9, 23, 69, 91, 114]. W konkursie oczekiwano nowych materiałów, nowych metod projektowania i nowego podejścia do połączenia problemów ekologicznych i bezpieczeństwa ruchu. Jako miejsce konkursowego opracowania przejścia dla zwierząt wybrano przełęcz West Vail w Colorado w parku krajobrazowym, nad autostradą I70. Głównym celem konkursu było opracowanie modelowej konstrukcji, która mogłaby być zastosowana w dowolnym innym miejscu i która pozytywnie rozwiązałaby konflikt pomiędzy infrastrukturą drogową a czynnikami środowiskowymi związanymi z migracją zwierząt. Drugim celem konkursu, odnośnie do modułowej konstrukcji, była idea, by w zgłoszonych projektach była zaproponowana tzw. przestrzeń krajobrazowa i zapewniona pełna harmonia zagospodarowania powierzchni z otoczeniem.

Zwycięzcą konkursu został Michael van Valkenburgh z firmy HNTB Engineering [69], proponując modułową konstrukcję prefabrykatową z betonu nowej generacji, która może być w różny sposób konfigurowana, w zależności od warunków terenowych i potrzeb środowiskowych. Zaproponowany system "hypar-nature" składa się z modułów prefabrykowanych [114], które służą jako wspornik, łącznik i element nośny łącznie (dwa moduły połączone w środku pracują jak trzyczęściowe łuki). Prefabrykowany podstawowy element jest kluczem do opłacalności budowli, szybkości wykonania i modułowości. Zaproponowany obiekt może być montowany z poszczególnych modułów bezpośrednio na miejscu budowy, o dowolnej długości i szerokości, jaka jest w danym miejscu potrzebna. Każdy moduł wykonany jest z materiałów powszechnie dostępnych, może więc być dowolnie modyfikowany i te właśnie czynniki zwróciły uwagę konkursowego jury. Ponadto zaproponowane prefabrykaty były możliwe do wykonania w dowolnym miejscu, czyli zapewniona była pełna uniwersalność obiektu. W elementach modułowych możliwe było posadzenie dowolnych krzewów czy drzew lub zastosowanie innego zagospodarowania [9, 23, 69, 91, 114].

Innym finalistą konkursu został Janet Rosenberg [23, 69, 169, 174, 175], który zaproponował unikatową konstrukcję o charakterze interdyscyplinarnym. Główna idea jego projektu polega na zastosowaniu „[...] w konstrukcji mostu lekkich i elastycznych rdzeni z włókna szklanego w elastycznych, modułowych konfiguracjach [...]” [174, s. 1] – zob. ryc. 3.89, 3.90.

Na ryc. 3.89 zaprezentowano fragment opracowania Janeta Rosenberga [174, 175], które przedstawia różnorakie wykorzystanie modułowych elementów w konstrukcji mostów, z różnymi nasadzeniami nawet małych drzew i różnorodnych traw. Przedstawione w wizualizacji Janeta Rosenberga (ryc. 3.89) możliwości konstruowania obiektu z lekkich elementów wskazują prawdopodobnie na konieczność znacznego odciążenia konstrukcji, przy dużych planowanych rozmiarach obiektu, oraz trzy ścieżki najścia na obiekt (ryc. 3.90). Zastosowane modułowe elementy obiektu umożliwiają różne jego zagospodarowanie, w zależności od konfiguracji terenu i potrzeb środowiskowych, czyniąc obiekt bardziej funkcjonalny i bardziej przyjazny dla zwierząt.

Zwraca szczególną uwagę czerwony jaskrawy kolor konstrukcji mostu zaproponowany przez architekta, który z jednej strony ma być przestrożą dla ludzi, oznaczającą „[...] przejście dla zwierząt lub krajobraz z „niehumanymi” mieszkańcami, ale z drugiej strony jest jednocześnie strukturą niezauważalną przez dzikie

zwierzęta, które nie widzą koloru czerwonego [...]” [174, s. 1] – zob. ryc. 3.91 i prace [9, 68, 69, 174]. Według badań ekologów zwierzęta czerwony kolor postrzegają jak szary, wtapiający się w środowisko; ten kolor w odbiorze otaczającego środowiska się dla nich nie wyróżnia, natomiast ludzie kolor czerwony odbierają jako coś ostrzegawczego.



Ryc. 3.89. Zagospodarowanie terenu w strefie migracji zaproponowane przez jednego z finalistów konkursu Janeta Rosenberga

Źródło: wizualizacja przejścia górnego nowej generacji Janeta Rosenberga JRA [174].



Ryc. 3.90. Trzy możliwe najścia i lekka konstrukcja zaproponowane przez Janeta Rosenberga

Źródło: wizualizacja przejścia górnego nowej generacji Janeta Rosenberga JRA [169].

Szczegółowe badania rozkładu widma zakresu barw w odniesieniu do jeleni prowadzili również naukowcy z uniwersytetu w Georgii. W artykule Steve Sheetz [197], stanowiącym podsumowanie prowadzonych badań, szczegółowo opisane są różnice pomiędzy budową i strukturą oka człowieka i jelenia, pod kątem widzenia różnych barw. Oko jelenia umożliwia mu znacznie lepszą widzialność przy słabym oświetleniu, co ułatwia mu poruszanie się w nocy, ale struktura pręcików i stożków w oku jelenia powoduje, że nie dostrzega on różnicy pomiędzy pewnymi barwami. Ponadto oko jelenia nie ma ultrafioletowej filtracji. Natomiast oko człowieka, zawierające ultrafioletową filtrację, pozwala mu skupić wzrok na drobnych szczegółach i rozróżniać barwy – od czerwonego, poprzez pomarańczowy, żółty, zielony, niebieski, do fioletowego, ale ogranicza odbiór fal krótkich widma ultrafioletowego. W konkluzji przeprowadzonych badań stwierdzono, że kolory czerwone i pomarańczowe jeleni postrzega w barwach szarych, co oznacza, że rozróżni on kolor niebieski od czerwonego, ale nie rozróżni koloru zielonego od czerwonego ani czerwonego od pomarańczowego [49, 130, 197]. Różnice pomiędzy postrzeganiem barw pomiędzy człowiekiem a jeleniem przedstawiono na ryc. 3.91.



Ryc. 3.91. Porównanie postrzegania rozkładu kolorów przez zwierzęta i ludzi

Źródło: opracowanie graficzne Dominik Kacprzak wg rezultatów badań opisanych w pozycjach [9, 49, 130, 174, 197].

Innym finalistą konkursu była holenderska firma Zwarts & Jansma Architects prowadząca badania związane z powiązaniem konstrukcji obiektu i jego późniejszej funkcjonalności [9, 69, 114, 246, 247]. W ramach prac tej firmy opracowano program ARC International Design Competition [247], w którym scharakteryzowano nową generację rozwiązań ekologicznych wykorzystujących nowe metody, materiały i inny nowatorski sposób myślenia. W projekcie konkursowym przedstawiono nowoczesne podejście do konstrukcji obiektu [114], poszukując optymalnej funkcji ekologicznej i krajobrazu. Autorzy zaproponowali konstrukcję o zakrzywionej formie w trzech płaszczyznach (ryc. 3.92), odporną na poprzeczne obciążenia. Na powierzchni autorzy zaproponowali grubą warstwę gleby i roślinność tworzącą powierzchniowy krajobraz naśladujący naturalne okoliczne siedliska. Odnośnie do konstrukcji zaproponowano lekkie i elastyczne materiały, łączone modułowo. Modułowa konstrukcja może być dowolnie łączona, w zależności od potrzebnej szerokości i długości, w danym miejscu. A zastosowane zagospodarowanie powinno nawiązywać do naturalnych okolicznych warunków środowiskowych. Autorzy w ten sposób zapewniają dostosowanie zaprojektowanej konstrukcji do zmiennego środowiska naturalnego, konfiguracji terenu, a także różnych warunków klimatycznych, które są trudne do przewidzenia.

Z analizy literatury dotyczącej zagadnień ekologicznych i projektowania obiektów przyjaznych zwierzętom wynika, że dla nich najkorzystniejsza powinna być konstrukcja przejścia zapewniająca wzdłuż osi podłużnej przejścia krzywizną wklęsłą, kojarzącą się z leśną polaną. Krzywizna pionowa wklęsła (ryc. 3.93 – oznaczenie terenu przejścia zwierząt kolorem zielonym – R_1), proponowana przez większość ekologów, zapewnia zwierzętom widok, po przeciwnej stronie przejścia, zarośli lub lasu, co stwarza iluzję przyjaznego

przejścia po „sztucznym” obiekcie wybudowanym w ich środowisku. Jednym z dobrych przykładów takiego przejścia jest most zielony Barnekow, wybudowany nad autostradą A20 w Niemczech (ryc. 3.93, 3.95).

Zalecana przez projektantów i architektów jest też wypukła krzywizna obiektu (ryc. 3.93), którą pod obiektem widzą kierowcy – R_2 ; jest ona dla nich bardziej korzystna, gdyż nie ogranicza widoczności i nie stwarza psychicznej bariery ograniczenia przestrzeni, co jest ważnym elementem w percepcji kierowcy, biorąc pod uwagę szerokość przejść górnych.



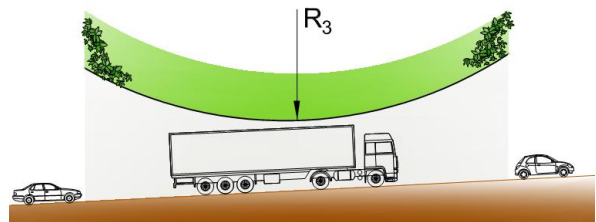
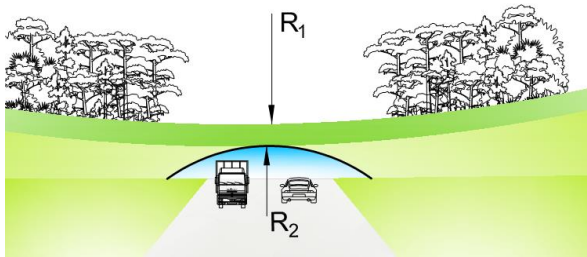
Ryc. 3.92. Optymalny kształt i konstrukcja mostu zielonego najnowszej generacji

Źródło: wizualizacja przejścia górnego nowej generacji firmy architektonicznej Zwarts & Jansma Architects [246].

Projektanci z firmy Zwarts & Jansma Architects zaproponowali jeszcze trzecią wklęsłą krzywiznę w przekroju poprzecznym obiektu (ryc. 3.93, 3.94), tak by zwierzęta, przechodząc przejściem na drugą stronę lasu, znajdowały się w jej wgłębieniu – R_3 . Wygięta konstrukcja obiektu w tym wypadku jest połączona z ekranem, co jest przy uwzględnieniu modułowości bardzo korzystne ze względu na czas budowy i względy ekonomiczne.

Przejścia górne w szczególności powinny być zharmonizowane z okolicznym krajobrazem, tj. powinny się „wtapiać w przestrzeń”. Ten warunek dość mocno podkreśla się w podstawowych podręcznikach i wytycznych [42, 52, 195, 201, 222, 234, 239]. W odniesieniu do tego warunku holenderscy architekci opracowali kilka rozwiązań modułowych (trzykrzywiznowych), tzn. obiektów, które składają się z powtarzalnych modułów i które można stosować w różnych konfiguracjach terenu (ryc. 3.92). Pierwsza krzywizna (łuk pionowy wklęsły R_1 – ryc. 3.83, 3.85) jest dla zwierząt; jej zadaniem jest stworzenie wrażenia doliny lub leśnej polany. Druga krzywizna R_2 (ryc. 3.93, 3.94) to wygięcie konstrukcji obiektu od dołu (łuk pionowy wypukły) z myślą o kierowcach – żeby pod obiektem nie mieli nieprzyjemnych skojarzeń związanych z przejazdem pod konstrukcją. Trzecia krzywizna R_3 obejmuje przekrój poprzeczny (łuk pionowy wklęsły), zapewniający zwierzętom równocześnie ochronę przed hałasem i światłami reflektorów (ryc. 3.93). Te wszystkie płaszczyzny powinny być dobrze zagospodarowane i zapewniać zwierzętom dogodne miejsca dla ewentualnego ukrycia się i żerowania. Są to również bardzo dobre warunki dla małych ssaków, ptaków, bezkręgowców.

Natomiast według opinii ekologów miejsca do żerowania dla dużych zwierząt powinny być lokalizowane w strefie dojścia do przejścia (ryc. 3.82) [84, 133, 222].

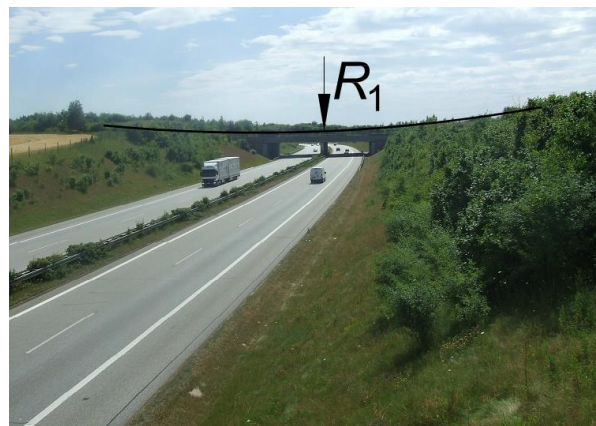


Ryc. 3.93. Trzy zalecane krzywizny do zastosowania na moście zielonym

Źródło: opracowanie graficzne na podstawie propozycji firmy architektonicznej Zwarts & Jansma Architects ZJA [246].



Ryc. 3.94. Przykład wklęsłej krzywizny pionowej wzdłuż przejścia Barnekow nad autostradą A20 w Niemczech (widok przejścia, jaki widzą przechodzące zwierzęta)



Ryc. 3.95. Widok mostu zielonego Barnekow nad autostradą A20 i linii terenu pokrywającej się z wklęsłą krzywizną pionową wzdłuż przejścia

Prace z konkursu International Wildlife Crossing Structure wniosły wiele dobrych pomysłów w zrównoważone projektowanie konstrukcji mostów zielonych i krajobrazowych bardziej przyjaznych zwierzętom. Analiza projektów konkursowych wskazuje, że kompilacja wielu czynników może stworzyć warunki dobrego przejścia górnego, które będzie poprawnie funkcjonowało, przy czym koniecznie trzeba jednak zadbać o wiele szczegółów, m.in. także o brak negatywnych odczuć u kierowców podczas przejazdu pod mostem o znacznej szerokości; należy pomyśleć również o stresującej kierowców dużej liczbie filarów, masywnych przyczółków, znacznym ograniczeniu widoczności, chwilowym wrażeniu zamknięcia itd. W związku z tym trzeba tworzyć konstrukcje przyjazne zarówno dla zwierząt, jak i dla kierowców.

Bardzo cenne i wielokrotnie się powtarzające propozycje poszczególnych autorów dotyczą stosowania odpowiednich gatunków nasadzeń i roślinności. Biorąc pod uwagę to, że celem prac konkursowych było m.in. stworzenie takiej modułowej konstrukcji, którą można by zastosować w dowolnym innym miejscu, szczególne wskazania dotyczące gatunku i typów roślinności nie były istotne dla organizatorów konkursu. Konkluzją prac konkursowych może być stwierdzenie, że w każdym dowolnym miejscu budowy mostu zielonego lub krajobrazowego szczególnie trzeba zadbać o zagospodarowanie przestrzeni mostu i stan roślinności w celu osiągnięcia ogólnego wrażenia jak największej naturalności krajobrazu na powierzchni mostu. Ogólnymi wskazówkami mogą być zalecenia dotyczące nie gatunku czy rodzaju nasadzeń, a raczej wypracowane wspólne stanowisko autorów konkursu odnośnie do podstawowej funkcji nasadzeń i kompozycji z otaczającym krajobrazem.

Na obiektach należy wykorzystywać roślinność z najbliższego otoczenia, na powierzchni obiektu powinna być zastosowana roślinność o mniejszych rozmiarach i najmniejszych wymaganiach glebowych, z płytkimi i małymi bryłami korzeniowymi. Ponadto roślinność powinna być odporna na suszę i mróz. Natomiast

w strefie naprowadzającej, tj. najścia, powinno się stosować nasadzenia większe; mogą być to gatunki aromatyzujące, przyciągające zwierzęta do wybudowanego przejścia. W liniach naprowadzeń powinno się stosować roślinność nakierowującą, pełniącą również funkcję osłonowo-izolacyjną.

Drugą konkluzją ogólną, wynikającą z zaproponowanych rozwiązań konkursowych w odniesieniu do konstrukcji modułowych, jest powtarzająca się w wielu projektach przejść górnych sekwencja poszczególnych warstw w poszczególnych modułach. Jeśli na obiektach zastosowane są nasadzenia krzewów, to powinny one być sadzone na wałach ziemnych – wówczas następuje zwiększenie miąższości zastosowanej warstwy gruntu. Wały powinny być obsiane trawą. Wokół nich i pod nimi powinna być ułożona słoma. Jeśli stosuje się moduły, to powinny one być otoczone biodegradowalną osłoną w postaci kołnierza ochronnego mocowanego na słupkach drewnianych [125]. W następnej kolejności powinien być zastosowany grunt. Miąższość gruntu, która powinna być dostosowana do obowiązujących wymogów i miejsca na obiekcie, z reguły powinna mieć grubość w granicach 0,6–1,2 m, jednak w rozwiązaniach holenderskich stosuje się grubość większą, wynoszącą ok. 1,5 m. Pod gruntem powinny być zastosowane tkaniny filtracyjne, warstwa żwiru, mata odwadniająca i zaprojektowane wypełnienie (z reguły grysem lub otoczkami). Pod ww. warstwami i nad konstrukcją modułową powinna być zastosowana izolacja z pianki. Ponieważ przejścia górne są projektowane na okres od 50 do 100 lat lub więcej, należy stosować takie rozwiązania zieleni i jej utrzymania, by nie dopuścić do uschnięcia roślinności lub jej nadmiernego rozwoju. W związku z tym od projektantów mostowców trzeba wymagać dobrze zaprojektowanego systemu odwodnienia obiektu.

Konkursy na rozwiązania architektoniczne mostów zielonych nie są rzadkością. Na przykład w 2017 roku w Korei Południowej zorganizowano konkurs Eco-Bridge Yang Jagogae na projekt mostu zielonego łączącego wzgórze w parkach Mount Umyeon i Maljukgeori, w pobliżu Yangjae Gogae [120], będące dużym siedliskiem przyrodniczym przeciętym przez dwujezdniową autostradę. Ze względu na park narodowy projektowany most powinien być przeznaczony zarówno dla zwierząt, jak i dla ewentualnych spacerowiczów. Zwycięski projekt, zespołu architektów KILD Ivane Ksnelashvili, Petras Išora, Dominykas Daunys i Ona Lozuraitytė, zespolonej kładki dla pieszych i zwierząt, zawieszanej pomiędzy wzgórzami, przedstawia wizję połączenia funkcji ekologicznych z narodową tradycją koreańskich ogrodów, co powoduje silniejsze połączenie zaprojektowanej konstrukcji z naturą.

Struktura konstrukcji kładki ma kształt, w przekroju poprzecznym, litery „U”, o nierównej wysokości boków. Przy niższym boku kładki znajduje się ścieżka rekreacyjna dla turystów, a wyższy bok kładki, o połałdowanej strukturze, stanowi strefę migracji dla małych zwierząt. Obie części rozdzielone są nasadzeniami niewysokich krzewów. Bardzo wyraźne jest połączenie mostu z naturą. W najściach na kładkę zaplanowano, zgodnie z tendencjami ekologicznymi, zagajniki naprowadzające z niewysokich krzewów i drzew. Do nasadzeń na moście wykorzystano miejscową roślinność, w związku z czym można spodziewać się szybkiej akceptacji przejścia przez zwierzęta. Ponadto na moście zastosowano również kolektor wodny, rozprowadzający wodę na całej powierzchni kładki, co ma zapewnić utrzymanie na niej zieleni [83, 120].

4. Zrównoważone zagospodarowanie terenu przejścia przyjaznego zwierzętom

4.1. Przegląd podstawowych wytycznych dotyczących zagospodarowania przejścia górnego

Projektując zagospodarowanie przejścia górnego, należy wziąć pod uwagę trzy podstawowe części procesu projektowania (ryc. 4.1): zagospodarowanie strefy najścia i migracji (zob. rozdz. 4), dobór zieleni zgodnie z otaczającym siedliskiem, dostosowany do zwierząt korzystających z przejścia (zob. rozdz. 5), oraz przyjęcie takich elementów składowych na przejściu, które mają zapewnić w miarę korzystne warunki mikroklimatu (zob. rozdz. 6).



Ryc. 4.1. Schemat podstawowej procedury w procesie projektowym zagospodarowania przejścia

W niniejszym rozdziale zostaną omówione elementy związane z zagospodarowaniem zielenią stref najścia i migracji zintegrowanych z najbliższym otoczeniem, czyli trzy zasady zrównoważonego projektowania: **dbałość o środowisko oraz szacunek dla użytkownika i do terenu**. Jeśli jest to zatem teren leśny, to zastosowane nasadzenia powinny obejmować te rodzaje zieleni, które są obecne w najbliższym otoczeniu. Natomiast jeśli jest to teren rolniczy otwarty, to otoczenie przejścia powinno stanowić zachętę dla zwierząt i „imitację” naturalnego siedliska, co omówiono przy okazji stref buforowych (zob. rozdz. 3.6, ryc. 3.49–3.52). Dodatkowym problemem, koniecznym do uwzględnienia w procesie projektowym, jest zagospodarowanie skarp wykopu i skarp przyczółku danego przejścia. W problematykę zagospodarowania strefy najścia i migracji wchodzi także projektowanie wałów ziemnych, zagajników naprowadzających, stosowanie na przejściu głazów zabezpieczających je przed niepożądanym przejazdem samochodów, a w przypadku przejścia zespolonego ogradzanie terenu migracji od terenu drogi lokalnej. Do zagospodarowania stref najścia i migracji zaliczyć można również zagadnienie estetyki obiektu i problemy związane z zastosowanym systemem odwodnienia.

Pierwszym zagadnieniem zagospodarowania przejścia jest przyjęcie odpowiedniej grubości warstwy urodzajnej i zaplanowanie odpowiednich nasadzeń. W polskich wytycznych projektowych sformułowane są następujące podstawowe zalecenia dotyczące zagospodarowania terenu przejścia górnego i najścia na obiekt [121, 133]:

- a) w wytycznych [133] podana jest w odniesieniu do warstwy gruntu na powierzchni przejść górnych miąższość minimalna równa 80 cm, w tym minimum 50 cm gleby urodzajnej, a w poradniku obowiązującym od 2010 r. [121] podane są już inne, znacznie mniejsze, miąższości gruntu:
 - w przypadku traw, roślinności zielonej i bylin: $\geq 0,3$ m, w tym minimum 0,1 m warstwy urodzajnej o dużej zawartości próchnicy;

- w przypadku krzewów: $\geq 0,6$ m, w tym minimum 0,3 m warstwy urodzajnej jw.;
- w przypadku drzew: $\geq 1,0$ m, w tym minimum 0,3 m warstwy urodzajnej jw.;
- b) kształtowanie trawiastej pokrywy roślinnej na powierzchni przejść górnych poprzez wysiew gatunków traw o średnim i wysokim pokroju (w zasięgu strefy usłonecznionej); dodatkowo w poradniku [121] do powyższego zalecenia dodano jeszcze zapis o konieczności wprowadzenia „[...] wąskich (szerokości ok. 2,5 m) pasów trawiastych (lub mieszanki traw i roślin motylkowych), wzdłuż ekranów, pomiędzy pasem pnączy i powierzchniami zakrzewionymi [...]” [121, rozdz. 7, s. 47];
- c) stosowanie nasadzeń krzewów i bylin;
- d) dopuszczenie i wspieranie spontanicznej ekspansji roślinności;
- e) rozmieszczenie na powierzchni przejścia oraz na najściach karpin korzeniowych – kilku lub kilkunastu;
- f) rozmieszczenie po każdej stronie najścia na przejście górne kilkunastu większych głazów uniemożliwiających przejazd samochodem.

Powyższe zalecenia należy porównać z podstawowymi wytycznymi obowiązującymi w innych krajach. Na przykład w podstawowych wytycznych COST 341 z 2003 r. [42], dotyczących miąższości warstwy gruntu, podaje się, że zależy ona od zastosowanego na powierzchni przejścia zagospodarowania – w odniesieniu do traw oraz krzewów jest podana ta sama grubość co w polskich wytycznych [133], ale w przypadku planowanego sadzenia drzew na powierzchni przejścia minimalna miąższość warstwy urodzajnej powinna być większa i powinna wynosić $\geq 1,5$ m. Przy czym bardzo ważny jest, ze względu na rozrastające się korzenie drzew, odpowiedni ich dobór, który powinien zapewniać bezawaryjne utrzymanie obiektu i bezpieczeństwo ruchu na drodze głównej. Ponadto w wytycznych [42] stwierdzono, że wysiewanie traw i ziół na terenie obiektu nie jest konieczne, gdyż dopuszczenie samoistnej spontanicznej ekspansji roślinności może prowadzić do lepszej funkcjonalności danego przejścia. Zaznacza się również, że zastosowana na przejściu górnym roślinność powinna odzwierciedlać gatunki roślin występujące w siedliskach po obu stronach przejścia. Przy czym powinno się preferować w doborze nasadzeń w strefie najścia gatunki roślin będące źródłem żywności danego gatunku zwierząt migrujących na planowanym przejściu, co potwierdza monitoring; oznacza to, że należy dobrać nasadzenia wabiące zależne od gatunków zwierząt migrujących na danym przejściu. Do obowiązkowych zaleceń należy zaliczyć także stosowanie wszelkiego rodzaju osłon, pełniących funkcję naprowadzającą, a także izolująco-ochronną przed światłem i hałasem, szczególnie w przypadku korzystania z danego przejścia przez większe gatunki ssaków.

Natomiast w Holandii na podstawie rezultatów wieloletnich monitoringów i analiz skuteczności przejść górnych, wybudowanych na początku XXI w., zaleca się [136], by warstwa gruntu urodzajnego wynosiła 1,5 m, bez względu na sadzone na niej różne gatunki trawy, krzewów czy drzew.

W wytycznych amerykańskich [239], opracowanych w 2011 r., podaje się już znacznie większe miąższości warstwy gruntu urodzajnego. Na przykład zaleca się, by na mostach krajobrazowych miąższość warstwy gruntu wynosiła minimum 2,4–3,6 m, a na mostach zielonych – w granicach 1,5–2,4 m. Tak znaczna różnica zalecanej grubości warstwy gruntu wynika stąd, że na moście krajobrazowym sadi się dużą liczbę krzewów lub małych drzew i wówczas miąższość gleby powinna zatrzymywać wodę w celu zapewnienia roślinom odpowiednich warunków wzrostu. Ponadto w wytycznych [239] zaleca się, by drzewa i krzewy były sadzone wzdłuż krawędzi obiektu, na wałach ziemnych, w celu zapewniania osłony izolacyjno-ochronnej. Natomiast strefa migracji i najścia powinna zostać strefą otwartą ewentualnie można posadzić tam roślinność niską lub zielną, która jednak powinna naśladować siedlisko rozdzielone przez dane przejście. Lokalną topografię można tworzyć, wprowadzając na powierzchni przejścia nieregularne i niewysokie wały ziemne. Zgodnie z wytycznymi [239] na powierzchni przejścia powinny być rozłożone karpiny, pnie uschniętych drzew i niewielkie głazy, stanowią one bowiem schronienie dla mniejszych zwierząt.

Reasumując, można stwierdzić, że polskie wytyczne są najbardziej liberalne w odniesieniu do zalecanej miąższości gruntów. W zachodnich krajach, jak wskazują zdjęcia satelitarne różnych obiektów, przedstawione w rozdz. 2 i 3 niniejszej monografii, na powierzchni przejść górnych jednak przede wszystkim formuje się wały ziemne i na nich zaleca się sadzenie krzewów, a środkową część strefy migracji i najść

coraz częściej pozostawia się do samoistnej ekspansji okolicznej roślinności. Potwierdzają to szczególnie wybudowane w ostatnich latach przejścia na terenie Holandii, szczegółowo opisane w rozdz. 3.5 i 3.7.

Przy okazji wspomnianego wyżej konkursu (zob. rozdz. 3.8) [125] zwrócono uwagę, że przy modułowych konstrukcjach zaproponowano zastosowanie, oprócz gleby otaczającej korzenie sadzonych kilkuletnich krzewów, bezpośrednio pod nią także następujących warstw: trawy, słomy, grubej warstwy gleby otoczonej specjalnymi kołnierkami, przylegającymi do ściany kasetonów, a także warstw tkanin filtracyjnych, żwiru, mat odwadniających, izolacji itd. Wspomniany modułowy model konstrukcji został specjalnie wypromowany, m.in. za zunifikowane powtarzalne rozwiązania możliwe do stosowania w różnych krajach, różniących się znacznie krajobrazem środowiskowym, czyli także stosowaną roślinnością. Szczegóły zwycięskiego projektu podane są w pozycjach [83] i [125].

4.2. Zalecane metody zagospodarowania strefy najścia i skarp wokół przyczółków w celu uzyskania jednolitej struktury z siedliskiem

Na podstawie kilkunastoletnich obserwacji warunków zagospodarowania na mostach zielonych w Niemczech, przeprowadzonych przez autorkę [202, 203, 205], można wysnuć wniosek, że korzystne i zwiększające funkcjonalność przejścia jest stosowanie nasadzeń w niewielkich zagajnikach w najściach na obiekt oraz nasadzeń drzew i krzewów w podwójnych rzędach wzdłuż ogrodzeń ochronnych, czyli stref naprowadzająco-osłonowych [243, s. 14]. Z obserwacji obiektów, wybudowanych nad autostradą A20 w Niemczech, i z analizy zdjęć satelitarnych, przedstawiających zagospodarowanie wielu przejść górnych wybudowanych w Szwajcarii, Austrii, Niemczech, Holandii i we Francji oraz innych (zamieszczonych w niniejszej monografii), wynika, że nasadzenia krzewów i drzew wzdłuż ogrodzeń należy wprowadzić na długości co najmniej 100 m od przyczółków, po obu stronach przejścia. Długość nasadzeń ściśle jednak jest związana z warunkami lokalnymi, tj. z okolicznym terenem i odległością krawędzi lasu, co przedstawiono m.in. na następujących przykładach:

- ryc. 2.32–2.35 – mosty zielone wybudowane nad autostradą A36 we Francji,
- ryc. 2.36–2.38 – przejścia zespolone wybudowane nad autostradą A4 w Austrii,
- ryc. 2.40–2.41 – mosty zielone wybudowane nad autostradą A28 w Holandii.

Zalecenie stosowania dwurzędowych nasadzeń wzdłuż ogrodzeń związane jest głównie z chęcią zastąpienia siatki ogradzającej, a przede wszystkim z chęcią nakierowania zwierząt konkretnie na strefę migracji [205, 207, 211]. Bardzo ważne są dobór gatunków stosowanych drzew i krzewów, który powinien uwzględniać przede wszystkim gatunki rosnące w podzielonym drogą siedlisku, i zwyczaje żywieniowe danego gatunku zwierząt, dla których budowane jest dane przejście. [211] Ponadto dobrane drzewa i krzewy do nasadzeń powinny odpowiadać gatunkom rosnącym w okolicy [36, 42, 202, 203]. Wówczas zwierzęta nie wyczuwają „sztucznych”, „nienaturalnych” fragmentów i szybciej zaakceptują dane przejście. Nie wszystkie jednak przejścia górne powinny mieć bogate zagospodarowanie zielenią na powierzchni przejścia i w strefach najścia na obiekt; wszystko powinno być odpowiednio skorelowane z krajobrazem środowiskowym w najbliższej okolicy lub z podzielonym siedliskiem. Wspomniane wyżej przykłady mostów zielonych z Francji (ryc. 2.32–2.35) wskazują, jak skuteczne było zastosowanie rodzimych gatunków drzew i krzewów z pobliskich lasów oraz zastosowanie tego samego gatunku nasadzeń zarówno w strefach najścia, jak i na powierzchni mostu. Są to przykłady związane z bogatym zagospodarowaniem powierzchni obiektu, odzwierciedlającym warunki środowiskowe, jakie panują w pobliskich lasach.

Natomiast mosty zespolone wybudowane nad autostradą A4 w Austrii, na terenie rolniczym (ryc. 2.36), mają już znacznie mniej zagospodarowane strefy przejścia i dojsčia. W danym przypadku zastosowane zagospodarowanie odzwierciedlało warunki terenowe i rolnicze otaczającego terenu. Przejścia wybudowane zostały przed 2000 r.; zagospodarowanie ich powierzchni ograniczało się do krawędzi obiektów (ryc. 2.37).

Po 14 latach ekspansywnego rozwoju roślinności na powierzchni mostów odnotować można bogate zagospodarowanie, szczelnie odgradzające teren przeznaczony dla zwierząt od drogi gruntowej na przejściach zespolonych (ryc. 2.37, 2.38b, d). Należy zwrócić uwagę na to, że w strefach najścia na obiekt zastosowano kilka zagajników i ułożono karpiny. Na tak skromnie zagospodarowanym terenie przejścia z założenia postawiono na spontaniczną ekspansję roślinności, która rzeczywiście po kilku latach rozwinęła się na prawie całej powierzchni strefy migracji i najścia. Na wałach przy krawędzi obiektu posadzono dobrane odpowiednio gatunki krzewów.

W analizowanych przypadkach, tj. we Francji, w Austrii i w Holandii, szczególnie zadbano o nasadzenia w strefach naprowadzająco-osłonowych poprzez uformowanie wałów ziemnych skutecznie odgradzających zwierzęta od autostrad, za którymi i na których posadzono szybko rozwijające się krzewy.

Zupełnie innym przykładem zagospodarowania najść są wspomniane wyżej dwa mosty, wybudowane nad autostradą A28 w Holandii (ryc. 2.40–2.41). Okolice obu mostów stanowią tereny podmiejskie Utrechtu, częściowo zalesione, ale częściowo także zamieszkałe przez ludzi. Po oddaniu mostów do eksploatacji na ich powierzchni uformowano wysokie wały ziemne w linii naprowadzenia, łączące się szczelnie z wygiętą na zewnątrz konstrukcją (ryc. 4.2). Natomiast na terenie obiektów uformowano nieregularne niskie wały ziemne i ułożono nieregularnie duże ilości karpiny. W najściach na obiekty dwa rzędy środkowe karpiny tworzą trzy kierunki stref najścia na przejście, a dwa pozostałe rzędy karpin w najściach osłaniają połączenie wałów ziemnych i betonowej konstrukcji obiektów. Charakterystyczne są na dopiero oddanym przejściu wykonane dwie szerokie bruzdy zlokalizowane bezpośrednio nad przyczółkami. Trzeci, jaśniejszy, pas zlokalizowany pośrodku obiektu, bezpośrednio nad osią autostrady i pasa dzielącego, ma docelowo służyć jako podstawa do badań migracji zwierząt. W południowo-zachodniej części naprowadzenia, w strefie buforowej, również na terenie pozbawionym roślinności rozłożono nieregularnie karpiny i kilka pni ściętych drzew. Ma to pomóc w odgradzeniu przejścia i ograniczeniu dostępu do niego postronnych ludzi. Zwraca uwagę również zagospodarowanie skarp i przyczółków. Po południowej stronie autostrady A28 skarpy są gęsto porośnięte krzewami i niewysokimi drzewami. Natomiast po stronie północnej widać zastosowane nasadzenia i niewielkie zagajniki dotychczasowej roślinności.



Ryc. 4.2. Zagospodarowanie terenu wokół mostu i powierzchni przejścia górnego wybudowanego nad autostradą A28 w Holandii (stan zagospodarowania bezpośrednio po oddaniu do użytku)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Na obiekcie regularnie prowadzono monitoring [230], potwierdzając głównie migrację saren, danieli, lisów, królików (dziko żyjących) i zająców. Na podstawie wyników różnorodnie prowadzonego monitoringu, tj.

liczenia śladów i tropów na specjalnym pasie zlokalizowanym w centralnej części obiektu lub liczenia przejść z wykorzystaniem nagrań z wideokamery, co szczegółowo opisano w pozycji [214], można potwierdzić bardzo dobrą funkcjonalność przejścia.

Drugim podobnym przykładem nowoczesnego sposobu zagospodarowania powierzchni wokół mostu i terenu przejścia jest most zielony Kampengrens, wybudowany nad autostradą A67, przedstawiony na ryc. 4.3. Tym razem najścia z każdej strony mostu są różne. Przyczółki oraz ściany skrzydłowe są krzywoliniowe i różne po obu stronach obiektu. Charakterystyczną cechą autostrady A67 jest również nietypowy pas dzielący, którego szerokość wynosi 14,5 m. Od strony zachodniej rosną na nim wysokie drzewa, a od strony wschodniej pas dzielący jest obsiany trawą; bezpośrednio przy obiekcie znajduje się przejazd awaryjny rozdzielony betonową barierą. Obiekt pod każdym względem jest nietypowy – na zdjęciach satelitarnych widać jego eksperymentalne zagospodarowanie.

Szerokość faktyczna przejścia, mierzona pomiędzy wałami ziemnymi, o wysokości do 3 m, jest równa 52 m. Szerokość pomiędzy wałami, mierzona w linii przyczółków, wynosi 73 m. Charakterystyczna jest też duża powierzchnia niesymetrycznej strefy buforowej.

Bezpośrednio po oddaniu obiektu do użytku na skarpach przed przyczółkami były widoczne nasadzenia i rozłożone kłody drewniane (ryc. 4.3). Pnie ściętych drzew są różnie ułożone, np. w strefie najścia pnie drzew ułożone są w niewysokie stopy i tworzą linie naprowadzenia na obiekt. W strefie najścia w planowanych oczkach wodnych i w związanym z tym obniżeniu terenu pnie są ułożone nieregularnie w celu stworzenia wilgotnego mikroklimatu sprzyjającego szybszemu zarastaniu powierzchni oczek wodnych. Na krawędzi strefy migracji i najścia pnie drzew ułożone są eksperymentalnie na dwa sposoby – na północy w formie zapór, równocześnie chroniących teren migracji przed niepożądanym przejazdem pojazdów (przy czym zwierzęta mogą swobodnie przemieszczać się pod zaporami i pomiędzy nimi), a w południowej strefie najścia na krzyż, w tym samym celu. Zastosowane różne ułożenie pni drzew imituje naturalne środowisko leśne w związku z czym nie było potrzeby układania głazów, które miały chronić teren migracji przed niepożądanym przejazdem pojazdów.



Ryc. 4.3. Zagospodarowanie terenu wokół mostu i strefy migracji na przejściu górnym Kampengrens, wybudowanym w Holandii nad autostradą A67 (stan zagospodarowania bezpośrednio po oddaniu do użytku)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Ponadto w strefie buforowej i w najściach, oprócz wałów ziemnych i karpin, rozłożono duże ilości dużych kłód drewnianych. Są to ścięte drzewa, o długości od 16 m do 25 m, które ułożono w stosy na krzyż lub pojedynczo luźno. W strefie naprowadzająco-osłonowej (wzdłuż ogrodzenia siatkowego, od strony przejścia) ułożone są ścięte drzewa wraz z koronami, z nieobciętymi gałęziami, co jest zauważalne dla kierowców jadących autostradą. Ułożenie wzdłuż ogrodzenia całych ściętych drzew miało na celu naturalne zasłonięcie ogrodzenia siatkowego i stworzenie naturalnego naprowadzenia zwierząt na przejście. Wokół oczek wodnych posadzono nieregularnie wybrane gatunki roślinności, sprzyjającej szybszemu rozwojowi zarośli.

Na ryc. 4.4 przedstawiono zbliżenie północnej części przejścia. W środkowej północnej strefie najścia kłody i karpiny są ułożone naprowadzająco na środek strefy migracji, po stronie północno-zachodniej – wzdłuż przyczółku i wałów ziemnych. Kłody wraz z karpinami ułożone są w wysoki stos. Natomiast po stronie północno-wschodniej ułożono je nad zagłębieniem terenu, które z czasem może przekształcić się w oczko wodne, oraz wzdłuż krótkiego przyczółku. Bezpośrednio nad przyczółkiem kłody ułożone są na zakładkę, poprzecznie, na przejściu górnym, utrudniając w ten sposób przejazd niepożądanych pojazdów.

Na ryc. 4.5 przedstawiono zbliżenie południowej części przejścia. W strefie buforowej i w strefie najścia od strony południowej, przedstawionej na ryc. 4.5, bezpośrednio nad przyczółkiem kłody ułożone są krzyżowo i poprzecznie, w zależności od szerokości podzielonej strefy najścia. Uwzględniając teren rolniczy po południowej stronie obiektu, kłody i karpiny ułożono w faliste szeregi, formując tym samym naprowadzenia i imitując naturalność siedliska. Bardzo pomocne prawdopodobnie w przyszłym funkcjonowaniu przejścia górnego okażą się zbiorniki wodne odgradzające strefę buforową przejścia od pól uprawnych. Biały poprzeczny pas jasnego gruntu nad pasem dzielącym służy do badań ekologów związanych z monitoringiem (ryc. 4.5).



Ryc. 4.4. Zagospodarowanie północnego terenu strefy najścia i strefy migracji na przejściu górnym Kampengrens
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przykład innego zagospodarowania strefy najść i skarp przyczółków, również przyjaznego zwierzętom, można odnotować na przejściu górnym Ecoduct De Scheeken wybudowanym nad autostradą A2 w Holandii (ryc. 4.6, 4.7). Wały ziemne zastosowane w naprowadzeniach mają nietypowy kształt, powtarzają bowiem linię krawędzi skarpy wykopu i tworzą strefę buforową, kończącą się tuż przy krawędzi lasu. Wzdłuż wału

ziemnego, przy północno-zachodniej krawędzi obiektu, uformowano wał z głazów i niewielkich skał. Przy południowo-wschodniej krawędzi obiektu znajduje się, wzdłuż wału, ściek betonowy odprowadzający wodę opadową do dwóch oczek wodnych zlokalizowanych w strefie buforowej.



Ryc. 4.5. Zagospodarowanie południowego terenu strefy najścia i strefy migracji na przejściu górnym Kampengrens
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.6. Zagospodarowanie naprowadzeń i skarp przyczółków na przejściu Ecoduct De Scheeken
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W Holandii dość często wprowadzano i nadal wprowadza się powierzchnię obiektu pozostawioną do samoistnego ekspansywnego rozwoju roślinności. W danym przypadku jednak najbardziej charakterystyczne jest rozczłonkowanie wałów ziemnych w linii przyczółków (ryc. 4.7) [93]. Powierzchnia skarp przy obu przyczółkach jest obsiana tylko trawą, a za pasem zieleni autostrady, poza koroną drogi, posadzono dwa rzędy drzew. Wały ziemne uformowane przy krawędzi obiektu mają przedłużenie w strefie

buforowej; są ukształtowane opływowo, na początku ich oś odchylna jest od osi obiektu lekko pod kątem 45°, a dalej, wzdłuż autostrady, mają kształt falisty, skutecznie ogradzając powierzchnię przejścia od ruchu drogowego (ryc. 4.6, 4.7). Istotna jest wysokość uformowanych wałów ziemnych, wynosząca ok. 2,5–3,0 m.

Podobne rozczłonkowanie wałów ziemnych zaproponowano na przejściu Borkeld wybudowanym nad autostradą A1 w Holandii (ryc. 3.40). Tylko tym razem wały ziemne „zewnątrzne” mają bogate i gęste nasadzenia. A wał wewnętrzny, wzdłuż krawędzi obiektu, nie był w momencie oddania przejścia do eksploatacji obsiany nawet trawą. Po kilku latach samoistnej ekspansji roślinności na grubej warstwie ziemi urodzajnej powierzchnia bardzo się zazieleniła i obecnie obiekt jest bardzo dobrze zagospodarowany [62]; na jego niewielkiej szerokości (15 m) cały czas rosną tylko trawa i zioła.



Ryc. 4.7. Widok zagospodarowanego przejścia górnego, ocenianego jako jedno z najlepszych rozwiązań ekologicznych
Źródło: fot. Joop van Houdt, State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat [93].

Analiza obowiązujących zaleceń oraz zastosowanych rozwiązań na autostradach i drogach ekspresowych, z pozytywną oceną funkcjonalności przejścia dla zwierząt, na podstawie monitoringu pozwala na podsumowanie tych zaleceń dotyczących zagospodarowania skarpy wykopu w najbliższym otoczeniu obiektu:

- a) skarpy wykopów i przyczółków powinny być gęsto obsadzone krzewami w celu zmniejszenia poziomu hałasu i ilości spalin bezpośrednio przy najściu na obiekt (ryc. 4.8–4.11), co ma przyczynić się do złagodzenia oddziaływania barierowego wynikającego z ogrodzenia autostrady i przecięcia siedliska;
- b) jeżeli jest to możliwe, należy sadzić drzewa i krzewy na obszarze najść w taki sposób, by tworzyły ciągłe lub przerywane pasy usytuowane pod kątem 45° do osi obiektu i krawędzi jezdni (ryc. 4.12, 4.13, 4.14);

- c) powinno być zapewnione płynne połączenie siatkowych ogrodzeń ochronnych montowanych wzdłuż drogi, z zastosowanym ogrodzeniem na powierzchni przejść górnych; powinno się również unikać załamania w linii ogrodzenia większych niż 15° (ryc. 4.13);
- d) ogrodzenia siatkowe powinny być ukierunkowane ukośnie pod kątem 45° do osi podłużnej obiektu; nie powinny one tworzyć kąta prostego z krawędzią zewnętrzną obiektu, bez względu na to, czy na obiekcie zastosowano ekran czy wały ziemne (ryc. 4.13, 4.14);
- e) gęste dwurzędowe nasadzenia drzew i krzewów wzdłuż siatkowych ogrodzeń drogi (na długości 100 m, czyli po 50 m w każdą stronę od przyczółków) powinny się płynnie łączyć z nasadzeniami zastosowanymi wzdłuż osłon przeciwołśnieniowych w najściach i na powierzchni przejść górnych (ryc. 4.13, 4.12);
- f) wszystkie nasadzenia w początkowym okresie powinny być ogrodzone siatką przymocowaną do drewnianych pali (ryc. 4.13–4.17);
- g) zastosowane drzewa i krzewy owocowe nie mogą być sadzone za blisko drogi, gdyż są one miejscem żerowania owadów, będących głównym pożywieniem ptaków, a nisko latające ptaki nad drogą są często przyczyną wypadków drogowych; równocześnie samo latanie nad drogą jest dla ptaków zagrożeniem;
- h) na najściach na przejście powinny być ułożone głazy dużej wielkości (ryc. 4.18, 4.19), zabezpieczające teren przed niepożądanym przejazdem pojazdów i użytkowaniem samodzielnych przejść przeznaczonych tylko dla zwierząt przez ludzi; w tym celu stosuje się też rozłożone nieregularnie karpiny i pnie uschniętych lub ściętych drzew;
- i) na siatkowych ogrodzeniach naprowadzających na przejście powinny być zamontowane siatki ochronne dla płazów.



Ryc. 4.8. Przykład przejścia górnego, na którym zastosowano gęste nasadzenia na skarpach przyczółków oraz w strefie najścia



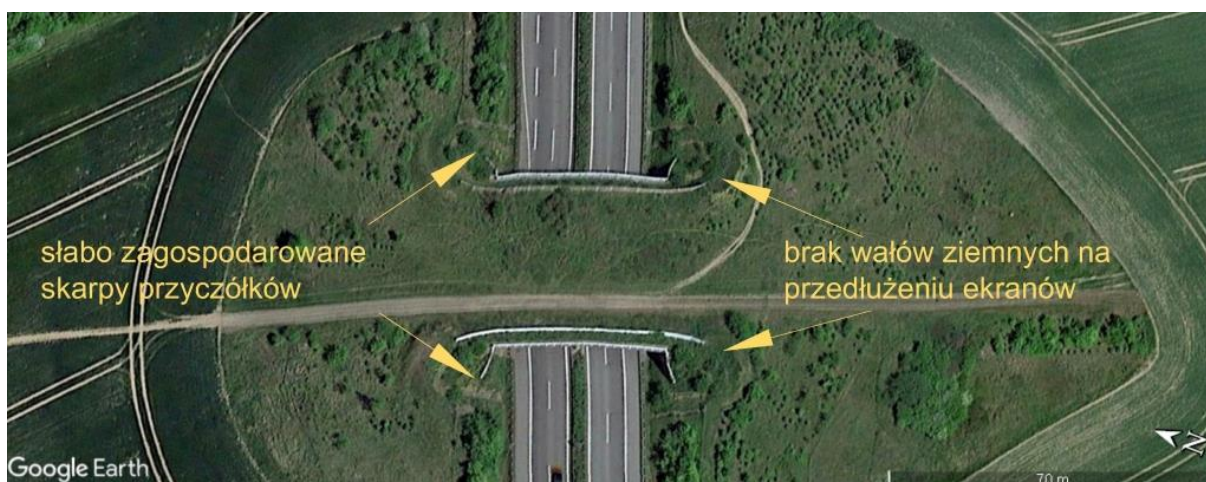
Ryc. 4.9. Przykład przejścia z bardzo gęsto nasadzonymi krzewami na przyczółkach i skarpach wykopu



Ryc. 4.10a. Przykład braku połączenia ekranu z naprowadzeniami w strefie najścia na przejście (tj. z wałami ziemnymi lub z nasadzeniami)



Ryc. 4.10b. Przykład bardzo słabo zagospodarowanej skarpy przy przyczółku, niezapewniającej dobrej osłony przeciwołnieniowej i przeciwhałasowej dla zwierząt



Ryc. 4.11. Przykład przejścia znajdującego się na terenie rolniczym i źle rozwiązanej strefy naprowadząco-osłonowej oraz strefy najścia z powodu niewłaściwego zagospodarowania skarpy na przyczółkach i braku wałów ziemnych na przedłużeniu ekranów (zob. ryc. 4.10a, b)

Źródło: tło stanowi zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.12. Przykład przejścia górnego, na którym w strefie dojścia i najścia zastosowano odpowiednie nasadzenia, co stworzyło wrażenie przedłużenia siedliska i przyczyniło się do lepszej funkcjonalności tego przejścia



Ryc. 4.13. Nieregularne zagajniki i wały naprowadzające przy krawędzi strefy najścia



Ryc. 4.14. Ekrany przy najściu odgięte pod kątem 45° od osi podłużnej obiektu



Ryc. 4.15. Przykład przejścia z zastosowanymi w strefie najścia niewielkimi zagajnikami, które powinny być w początkowym okresie użytkowania ogrodzone siatką przymocowaną do drewnianych palików



Ryc. 4.16. Zagajnik naprowadzający na przejście, otoczony siatką umocowaną na palikach drewnianych



Ryc. 4.17. Zagajnik pomiędzy krawędzią lasu a najściem, otoczony siatką umocowaną na palikach drewnianych



Ryc. 4.18. Przykłady zastosowania głazów na przejściach górnych w Niemczech



Ryc. 4.19. Przykłady zastosowania głazów na przejściach górnych w Polsce

Zgodnie z ww. zaleceniem skarpy przyczółków powinny być szczelnie i gęsto osadzone odpowiednimi gatunkami krzewów. Jeśli w ogóle nie ma nasadzeń na skarpach przyczółków (ryc. 3.87, 3.88) lub jeśli są

one bardzo skąpe bądź rzadkie (ryc. 4.10, 4.11), lub uschnięte, to nie ma osłony izolacyjnej przed hałasem i spalinami w najściu i nawet na samym przejściu.

Podobnie jest, jeśli ekran usytuowany na przejściu górnym nie jest połączony szczelnie z wałem ziemnym lub z gęstymi nasadzeniami zastosowanymi w naprowadzeniach (ryc. 3.66, 3.86, 3.88, 4.10), gdyż hałas i zanieczyszczenia z drogi przenikają bez przeszkód na teren najścia i przejścia. Takie rozwiązania są niewłaściwe i nie przyczyniają się do funkcjonalności przejść, a nawet odwrotnie: znacznie ją obniżają, zwiększając oddziaływania barierowe.

Jeśli chodzi o gatunki krzewów stosowanych w nasadzeniach na skarpach przyczółków, po kilkunastoletnich obserwacjach zieleni wprowadzonej na obiektach w Niemczech autorka zaleca stosowanie przede wszystkim dzikiego bzu czarnego (*Sambucus nigra*), wierzby wawrzynkowej (*Salix daphnoides*), kruszyny pospolitej (*Frangula alnus*), trzmieliny pospolitej (*Euonymus europaeus*). Są to krzewy odporne na spaliny, suszę i mróz, nie wymagają częstych zabiegów pielęgnacyjnych, a ich żywotność na skarpach obiektów jest wieloletnia.

W wielu wytycznych krajowych i zagranicznych zaleca się stosowanie na skarpach do nasadzeń krzewów dzikiej róży (*Rosa canina*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*). Jednak wieloletnie obserwacje autorki, dotyczące zastosowania ww. krzewów na przyczółkach przejść górnych wybudowanych nad autostradami w Niemczech, wykazały, że krzewy te po 5–8 latach od posadzenia obumierają, usychają i trzeba je wymieniać na nowe, co zwiększa koszty utrzymania danego obiektu. Krzewy te można stosować jedynie wówczas, gdy zarządca drogi zakłada ich okresową wymianę.

W naprowadzeniach, na wałach i przed nimi od strony najścia, można ww. gatunki krzewów uzupełnić, sadząc: śliwę tarninę (*Prunus spinosa*), ostrokrzew kolczasty (*Ilex aquifolium*), wierzbę iwę (*Salix caprea*), wierzbę szarą, łozę (*Salix cinerea*), żarnowiec miotlasty (*Cytisus scoparius*), wierzbę wawrzynkową (*Salix daphnoides*), trzmielinę wielkoskrzydłą (*Euonymus macropterus*), jarzębinę (*Sorbus aucuparia* L.) i kalinę koralową (*Viburnum opulus*). Ponadto ww. krzewy można uzupełnić niską roślinnością typu kostrzewa (*Festuca*) lub rozplenica japońska (*Pennisetum alopecuroides*), co uszczelni znacznie przerwy pomiędzy krzewami i wpłynie na obniżenie poziomu hałasu w najbliższej okolicy przejścia.

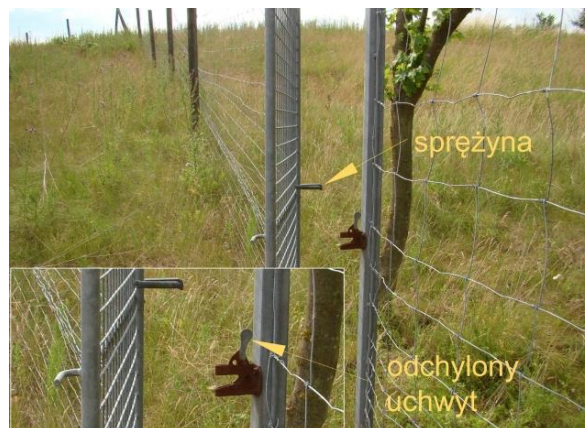
Szczególnie korzystne ze względu na pochłanianie hałasu drogowego jest gęste sadzenie ostrokrzewu (*Ilex aquifolium*) (sadzonki kilkuletnie mają wysokość ok. 0,7–1,0 m), z zachowaniem zalecanego przez biologów podziału, a mianowicie sadzenia jednego krzewu męskiego na kilka krzewów żeńskich. Ostrokrzew jest mało wymagający i jest przede wszystkim odporny na mróz i zanieczyszczenia drogowe. Ma jeszcze tę zaletę, że posiada ostre kolce, które zniechęcą niepożądane osoby do wejścia na przejście samodzielne. Krzew jest bardzo odporny i nie wymaga pielęgnacji; przez kilkanaście lat obserwacji autorka nie zauważyła żadnych oznak wysuszenia czy obumierania krzewów ostrokrzewu, a wręcz przeciwnie: ich stan oceniła jako wyjątkowo dobry w miarę upływu lat użytkowania danego przejścia.

Szczególnie istotne jest układanie dużych głazów w linii najścia na samodzielny obiekt, które skutecznie mogą ochronić teren przejścia górnego przed niepożądanym wjeżdżaniem samochodów na obiekt przeznaczony dla dzikich zwierząt. Głazy mogą być ułożone w linii prostej lub półkolem (ryc. 4.18), w dolnej części najścia lub na jego powierzchni w dowolnym miejscu. W ostateczności mogą być ułożone na górze najścia, w linii styecznej ze strefą migracji (ryc. 4.19 oraz 3.35–3.37).

Kolejną, niby drobną, rzeczą, na którą można zwrócić uwagę, jest sposób konstrukcji zamka furtki w ogrodzeniach siatkowych stosowanych w naprowadzeniach na przejściach znajdujących się w Niemczech. Zamiast popularnych w Polsce zamków na klucz lub kłódkę stosuje się zamek stalowy sprężynowy, umożliwiający w każdej chwili kontrolę odpowiednim służbom, bez uciążliwej konieczności posiadania kluczy do każdej z furtek (ryc. 4.20, 4.21).



Ryc. 4.20. Przykład furtki zastosowanej w ogrodzeniu z zamkiem sprężynowym
Źródło: fot. Mariusz Schab [184].



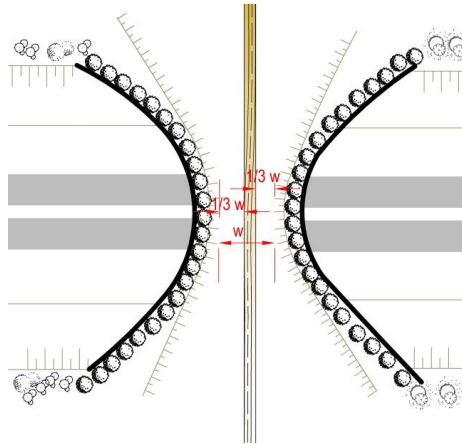
Ryc. 4.21. Sprężynowy zamek, umożliwiający otwieranie i zamykanie furtki poprzez odchylenie górnego uchwytu (bez konieczności stosowania klódek lub kluczy)

4.3. Lokalizacja drogi na powierzchni przejścia zespolonego

Ponieważ częściej stosuje się przejścia zespolone niż samodzielne, bardzo istotnym problemem jest zaprojektowanie właściwej lokalizacji drogi lokalnej na powierzchni obiektu. Projektując przejścia zespolone, należy przeanalizować wszystkie aspekty, jednak przede wszystkim trzeba zapewnić spokój i dobre warunki do migracji zwierząt. W drugiej kolejności należy przeanalizować położenie drogi gruntowej na powierzchni obiektu zespolonego. Zgodnie z polskimi wytycznymi [121] na przejściach zespolonych, z drogą niewywierającą znaczącego wpływu na przemieszczanie się zwierząt, szerokość powierzchni dostępna dla zwierząt nie powinna być mniejsza niż 1/3 szerokości faktycznej przejścia (ryc. 4.22). Wolna powierzchnia przeznaczona dla zwierząt na przejściu zespolonym nie powinna wywierać znaczącego negatywnego wpływu na ich przemieszczanie się lub powodować u nich „[...] poczucie zagrożenia oraz klaustrofobii [...]” [117, s. 276]. Jednak ten zapis z wytycznych może doprowadzić do niekorzystnych rozwiązań i ograniczenia funkcjonalności przejścia, przy złej interpretacji przez projektanta, tak jak to było w przypadku obiektu przedstawionego na ryc. 4.28.

Trzeba podkreślić, że zarówno w kraju, jak i za granicą wybudowano wiele przejść zespolonych z lokalizacją drogi na środku przejścia zespolonego. Są one różnej szerokości i mają różne zagospodarowanie powierzchni strefy migracji, ale na prawie wszystkich obiektach zasada pozostawienia wolnej dla zwierząt szerokości „zielonej” powierzchni, stanowiącej co najmniej 1/3 szerokości faktycznej, została uwzględniona (ryc. 4.22, 4.23). Niezależnie od faktycznej szerokości przejścia w przedstawionym przypadku (ryc. 4.23, 4.24) zwierzęta mają przestrzeń dla siebie i mogą migrować pomiędzy rozdzielonymi siedliskami.

Na szczególną uwagę zasługuje przejście zespolone wybudowane nad autostradą A21 w Wielkiej Brytanii, koło wsi Lamberhurst (ryc. 4.25). Przerwane drogami środowisko naturalne ma wiele elementów drogowych. Na dolnym poziomie znajduje się skrzyżowanie z ruchem okrężnym typu rondo, a bezpośrednio pod obiektem – wlot autostrady na rondo (ryc. 4.24). Wybór skrzyżowania typu rondo powoduje zmniejszenie prędkości na wlocie autostrady i w związku z tym zmniejszenie na przejściu hałasu generowanego przez ruch drogowy. Na powierzchni przejścia zlokalizowana jest droga podmiejska, z niewielkim, zarówno dobowym, jak i godzinowym, natężeniem ruchu, prowadząca do położonego w lesie National Trust – Scotney Castle i XIV-wiecznego Scotney Old Castle. Celem zapewnienia funkcjonalności przejścia skarpy drogowe zostały bogato zagospodarowane zielenią. A na powierzchni przejścia, w strefie migracji, dokonano licznych nasadzeń, dbając o ich różnorodność i pozostawiając ścieżki migracyjne dla zwierząt (ryc. 4.25). Droga na obiekcie ma nawierzchnię gruntową i ma niewielką szerokość, natomiast strefy migracji zajmują znaczną część szerokości przejścia. Wysokość naziomu na obiekcie wynosi ok. 2–2,5 m.



Ryc. 4.22. Zalecana lokalizacja drogi niewyierającej znaczącego negatywnego wpływu na przemieszczanie się zwierząt na przejściu zespolonym
Źródło: opracowanie graficzne na podstawie [121].



Ryc. 4.23. Zagospodarowanie przejścia zespolonego wybudowanego nad autostradą A21 w Wielkiej Brytanii
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.24. Lokalizacja mostu zielonego Lamberhurst wybudowanego nad wlotem autostrady A21 na rondo (szerokość przejścia – 30 m, szerokość w najściu – 50 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Ze względów budowlanych należy jeszcze zwrócić uwagę na prawidłowo rozwiązany system odwodnienia obiektu – w postaci zagłębionego odprowadzenia wody na krawędzi obiektu, poza naziemem. Woda opadowa w trakcie deszczu ma zapewniony swobodny spływ z powierzchni skarp i jest kierowana do betonowego rowu odprowadzającego jej nadmiar, w stronę przyczółków do podziemnego systemu kanalizacji. Obiekt, pomimo krzywizny wypukłej, zapewnia dobrą widoczność siedliska po drugiej stronie przejścia ze względu na znajdujące się powyżej obiektu skarpy drogowe (ryc. 4.25). Stosując niewielki promień łuku pionowego, zapewniono dobre warunki migracji zwierząt i nie ograniczono kierowcom widoczności pod obiektem na całej długości ich przejazdu. Zadbano również o system oświetlenia pod obiektem, stosując pod pomostem oddalone od jego krawędzi lampy. Słupy drogowego systemu oświetlenia ulicznego na wlocie autostrady A21 są oddalone od krawędzi obiektu o ok. 12 m.

Również pozytywnym przykładem zastosowania zasady pozostawienia $\frac{1}{3}$ szerokości przejścia na strefę migracji są mosty zielone wybudowane we Francji, przedstawione na ryc. 2.32–2.35. Bardzo często na zrealizowanych już wielu obiektach projektowano w przypadku przejść zespolonych drogę pośrodku przejścia, pozostawiając po obu stronach podobne szerokości przejścia (ryc. 4.26). Jednak na przestrzeni lat wybudowano także wiele przejść zespolonych z drogą zlokalizowaną pośrodku strefy migracji, przy znacznie

szerszych obiektach (ryc. 4.27), z pozostawieniem proporcjonalnych szerokości powierzchni przejść po obu stronach obiektu, stosując tylko ogrodzenia siatkowe [196]. Opisane rozwiązanie jest jednak najczęściej stosowane na terenach rolniczych (ryc. 4.27).



Ryc. 4.25. Zagospodarowanie powierzchni przejścia i zastosowany system odwodnienia przy krawędzi obiektu
Źródło: Fira Landscape Limited [1].



Ryc. 4.26. Przykład przejścia górnego wybudowanego nad autostradą A16 we Francji (szerokość obiektu – 24 m, faktyczna szerokość przejścia pomiędzy ekranami – 11 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

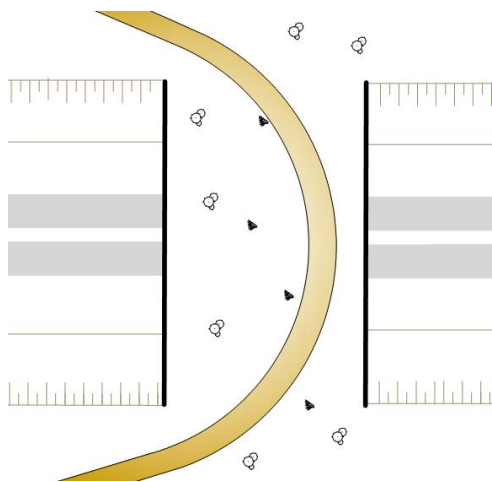


Ryc. 4.27. Przykład przejścia górnego wybudowanego nad autostradą A20 we Francji (szerokość obiektu – 192 m, szerokość łącznego przejścia – 128 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Nie na wszystkich jednak obiektach zespolonych, wybudowanych w kraju i za granicą, prawidłowo zaplanowano lokalizację drogi na powierzchni mostu, prawdopodobnie zmniejszając tym samym funkcjonalność przejścia; między innymi na ryc. 4.28–4.31 przedstawiono takie przypadki. Szczególnie negatywne warunki drogowe, powodujące, że przejście jest prawdopodobnie niefunkcjonalne, przedstawiono na ryc. 4.29, gdy droga dwukrotnie przecina strefę migracji. Teren rolniczy wokół przejścia jest płaski, zwierzęta mają przed sobą otwartą przestrzeń i widzą jedynie pola uprawne. Jednak należy zdecydowanie podkreślić, że z drogi korzystają tylko sporadycznie pojazdy rolnicze, którymi rolnicy

z pobliskich wsi dojeżdżają na swoje pola uprawne. W przypadku przerwania naturalnego siedliska prawidłowe rozwiązanie powinno wyglądać jak na ryc. 3.49–3.51.

Negatywnym przykładem wspomnianej złej lokalizacji drogi na powierzchni obiektu mogą być również przejścia przedstawione na ryc. 4.29, 4.30 i 4.31, a także na ryc. 2.28. We wszystkich ww. przypadkach lokalizacja drogi na obiekcie zespolonym może wpływać negatywnie na akceptację przejścia przez zwierzęta lub powodować znaczny wzrost u nich poczucia zagrożenia. Wybudowana na obiekcie droga dwa razy przecina strefę migracji zwierząt (ryc. 4.29, 4.30), ograniczając funkcjonalność przejścia, bowiem w danym przypadku projektant bardziej zadbał o parametry geometryczne drogi i zapewnienie korytarza ruchu maszynom rolniczym, niż o przestrzeń migracji dla zwierząt, dla których przede wszystkim wybudowano te obiekty. Przy przejściu zespolonym przeznaczonym dla zwierząt i ewentualnego przejazdu pojazdów rolniczych powinno być zastosowane naturalne odgródzenie obu części, np. za pomocą wału ziemnego, posadzonych krzewów lub choćby ułożonych karpin, ściętych pni drzew i głazów. Również pozostawienie niezagospodarowanej powierzchni przejścia i przede wszystkim strefy buforowej nie przyczynia się do dobrej jego funkcjonalności (ryc. 4.29).



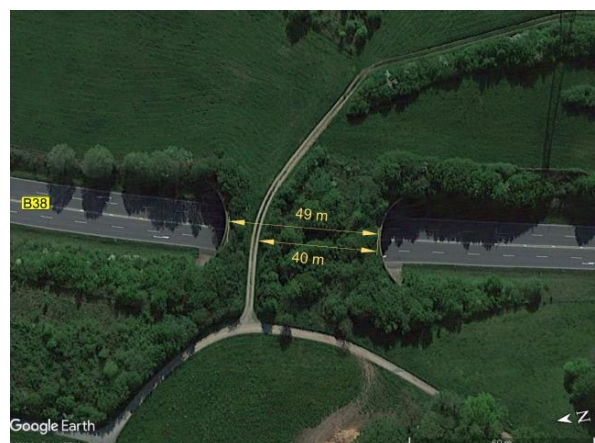
Ryc. 4.28. Niezalecana lokalizacja drogi na przejściach zespolonych i niezalecane stosowanie jej krzywoliniowego przebiegu



Ryc. 4.29. Przejście górne nad drogą ekspresową S3 w Polsce koło Krzemlina, z nieprawidłowo wytrasowaną drogą lokalną na przejazdy rolnicze
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

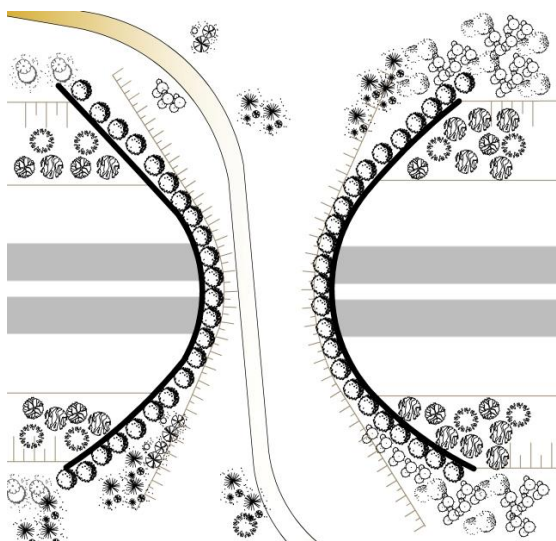


Ryc. 4.30. Przejście górne nad autostradą A4 w Szwajcarii, koło Henggart, z nieprawidłowo wyprofilowaną drogą lokalną i dwoma skrzyżowaniami na powierzchni obiektu
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

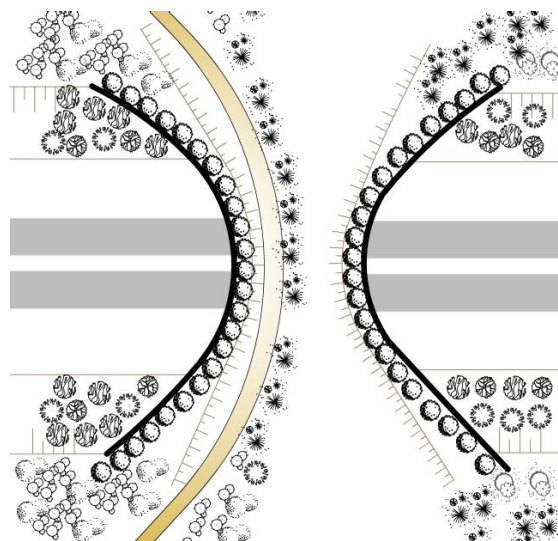


Ryc. 4.31. Przejście górne Birkenau nad drogą B38 w Niemczech, koło wsi Nieder-Liebersbach, z nieprawidłowo wyprofilowaną drogą lokalną
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Lepszym rozwiązaniem lokalizacji drogi na przejściu zespolonym jest jej zaprojektowanie blisko jednej z krawędzi obiektu (ryc. 4.32, 4.33). Dobrym przykładem zrównoważonego zagospodarowania strefy migracji ze względu na zwierzęta jest droga wydzielona np. za pomocą wałów, krzewów lub karpin.



Ryc. 4.32. Częsta lokalizacja dróg na przejściach zespolonych na mostach zielonych w Niemczech

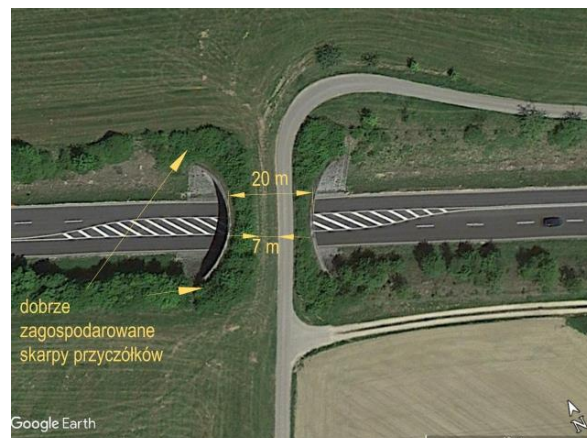


Ryc. 4.33. Lokalizacja krzywoliniowego przebiegu dróg na mostach zielonych w krajach zachodnich, szczególnie we Francji i w Austrii

Wiele pozytywnych rozwiązań projektowych przejść górnych zespolonych przedstawiono na rycinach w rozdz. 2, 3. Najbardziej charakterystycznym pod tym względem przejściem jest most zielony Slabroek, przedstawiony na ryc. 4.80–4.83, oraz przejścia zespolone wybudowane w rejonie Baden–Württemberg w Niemczech nad drogą B31n, przedstawione na ryc. 4.34 i 4.35.



Ryc. 4.34. Most zielony Hirschweg (szerokość w strefie najścia – 89 m, największa szerokość obiektu – 80 m, faktyczna szerokość strefy migracji – 28 i 31 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.35. Most zielony Negelhof (szerokość w strefie najścia – 37 m, największa szerokość obiektu – 20 m, faktyczna szerokość strefy migracji – 7 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przejścia z krzywoliniowym przebiegiem drogi na powierzchni obiektu nie są przypadkiem rzadkim czy osobliwym. Dobrym przykładem zaakceptowanego przez zwierzęta bardzo wąskiego przejścia zespolonego, bez zagospodarowania jego powierzchni, jest wspomniane wyżej przejście (zob. rozdz. 2, ryc. 2.56, 2.57) nad autostradą E6 w Szwecji, w pobliżu Uddevalla [152]. Na przejściu o szerokości 16 m droga prowadząca do pojedynczej posesji ma szerokości 5 m i zlokalizowana jest przy jednej z krawędzi obiektu; pozostałe 11 m stanowi faktyczną szerokość przejścia przeznaczoną na strefę migracji. Wyniki monitoringu zawarte

w pozycjach [39, 152, 154] (tj. dane tabelaryczne, wykresy i fotografie śladów) poświadczają dobrą funkcjonalność tego bardzo skromnie zagospodarowanego i wyglądającego przejścia.

Innym przykładem obiektu zespolonego z prawidłowo zaplanowanym krzywoliniowym przebiegiem drogi lokalnej może być przejście zespolone wybudowane w Niemczech nad autostradą A14, koło wsi Jesendorf (ryc. 4.36). W tym przypadku maszyny rolnicze mają zapewnione korytarze ruchu na krzywoliniowej trasie drogi lokalnej, w związku z czym obecność człowieka na przejściu dla zwierząt nie za bardzo ingeruje w powierzchnię „zieloną”, gdyż droga lokalna gruntowa jest oddzielona od pozostałej powierzchni nasadzeniami i głazami. Zwierzęta na przejściu mają swoją przestrzeń i mogą swobodnie poruszać się pomiędzy rozdzielonymi siedliskami.



Ryc. 4.36. Bardzo dobrze zagospodarowane przejście zespolone (szerokość obiektu wynosi 34 m, a faktyczna szerokość przejścia – 20 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.37. Bardzo dobrze zagospodarowane przejście zespolone (szerokość obiektu wynosi 210 m, a faktyczna szerokość przejścia – 143 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Innym specyficznym przykładem obiektu zespolonego z krzywoliniowym przebiegiem ulicy o nawierzchni asfaltowej, prowadzącej z portu do drogi krajowej 701, jest obiekt wybudowany w Szwecji nad autostradą A44 i dwutorową linią kolejową (ryc. 4.37). Szerokość obiektu jest równa 210 m, z czego dla zwierząt przeznaczona jest zalesiona powierzchnia o szerokości 143 m. W danym przypadku jednak warunki naturalne, tj. istniejące zbocze górskie, wyznaczyło główne parametry przejścia, czyli jego szerokość i wysokość naziomu nad konstrukcją obiektu (ok. 7–8 m). Na obiekcie od strony południowej są specyficzne warunki przedmieścia Uddevalli, tj. znajduje się na jego terenie budynek biurowca, parking dla pracowników i dwa przystanki autobusowe. Niemniej jednak szerokość przejścia i naturalne, zachowane podczas budowy oraz po jej ukończeniu, warunki środowiskowe dotychczasowych siedlisk przyczyniają się do niezakłóconej egzystencji zwierząt i ludzi.

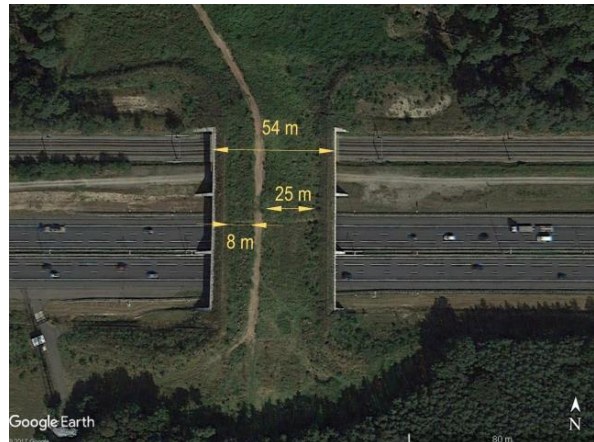
Czasami wykorzystuje się naturalne warunki terenowe, budując wspólne obiekty i przeznaczając tylko część powierzchni dla zwierząt. Takim przykładem może być obiekt, o szerokości 415 m, wybudowany nad autostradą A20 we Francji, koło wsi Terregaye (ryc. 4.38), który umożliwia rolnikom komunikację na obu jego końcach. Dla zwierząt polnych pozostawiono szerokość przejścia wynoszącą ponad 290 m. Przy czym należy zaznaczyć, że obie drogi mają nawierzchnię asfaltową i są obciążone mało znaczącym ruchem lokalnym. Obie drogi są odgródzone wałami ziemnymi od powierzchni przeznaczonej dla zwierząt. Natomiast na krawędzi obiektu zastosowano tylko ogrodzenia siatkowe, zgodnie z zaleceniami sformułowanymi w wytycznych francuskich [196].

Innym przykładem może być obiekt wybudowany nad dwutorową linią kolejową oraz autostradą A12 w Holandii, koło wsi Beerschoten i Austerlitz (ryc. 4.39). W tym przypadku droga gruntowa również ma krzywoliniowy przebieg i jest zlokalizowana bliżej jednej z krawędzi obiektu. Na pasie pomiędzy drogą

gruntową a bliższą zachodnią krawędzią obiektu znajduje się szeroki wał ziemny obsadzony gęsto krzewami. A przestrzeń „zielona” przeznaczona dla zwierząt, zlokalizowana po wschodniej stronie obiektu, jest częściowo odgradzona od drogi gruntowej wałami i zagajnikami.

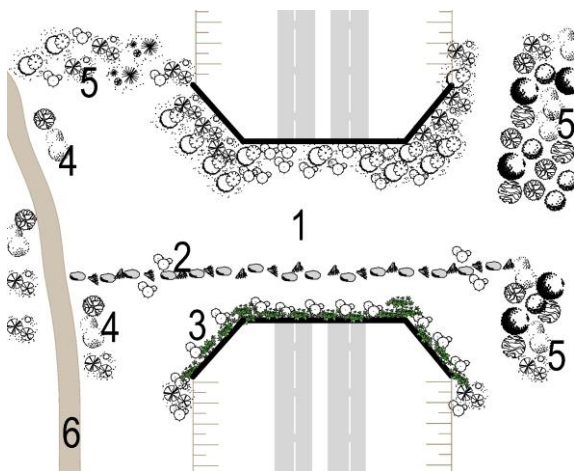


Ryc. 4.38. Przykład przejścia nad autostradą A20 we Francji (szerokość obiektu – 415 m, faktyczna szerokość przejścia – 295 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.39. Przykład przejścia nad autostradą A12 w Holandii (szerokość obiektu – 54 m, faktyczna szerokość przejścia po zachodniej stronie – 25 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Z badań francuskiego ekologa Jeana Carsignol [28, 29], przeprowadzonych w ostatnich latach, wynika, że najlepiej jest pozostawić część środkową najścia i strefę migracji jako przestrzeń otwartą, podobną do łąki leśnej. A nasadzenia warto stosować przy krawędzi obiektu i w zagajnikach naprowadzających na obiekt, znajdujących się na krawędzi strefy najścia (ryc. 4.40–4.42). Podobne zalecenia są sformułowane w publikacji ekologów europejskich na konferencji ICOET 2003 [16, 167].



Oznaczenia zastosowane na rycinach 4.40–4.42:

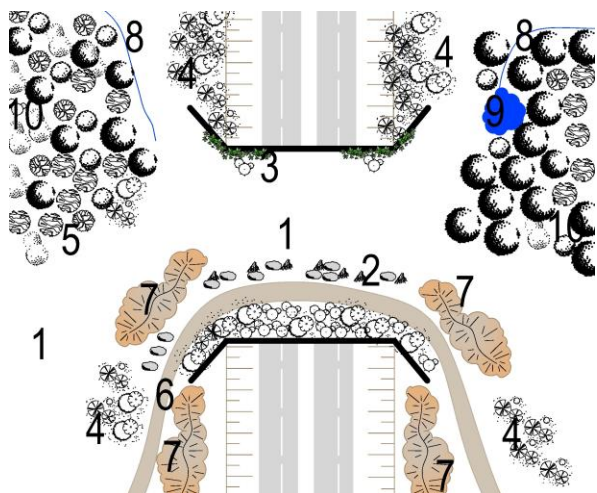
1 – strefa migracji (naturalna łąka trawiasta); 2 – naprowadzenia ochronne dla małych zwierząt (głazy, stosiki kamienne, karpiny, małe wały ziemne); 3 – nasadzenia przy ekranach (krzewy i bluszcze); 4 – naprowadzenia (zagajniki z gatunków krzewów znajdujących się w pobliskim otoczeniu); 5 – istniejące zagajniki i siedliska naturalne w najbliższej okolicy przejścia, w tzw. strefie przywabiania; 6 – droga gruntowa lokalna, o znikomym natężeniu ruchu; 7 – wały ziemne wysokie; 8 – istniejące naturalne ciek wodne lub sztuczne ciek wybudowane wraz z przejściem; 9 – naturalne lub sztuczne oczko wodne; 10 – istniejące zagajniki lub istniejący las z wysokimi drzewami

Ryc. 4.40. Przykład zagospodarowania terenu przejścia, gdy droga gruntowa znajduje się w pobliżu obiektu
Źródło: opracowanie graficzne na podstawie pracy [28, s. 25].

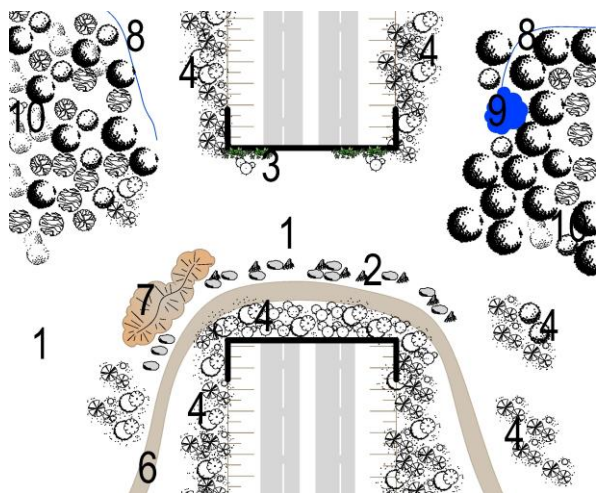
W zależności od gatunku zwierząt korzystających z danego przejścia powinny być stosowane pewne konieczne elementy (tzw. atrybuty) zagospodarowania. W przypadku małych zwierząt powinno się stosować małe głazy, stosiki kamienne i nieduże karpiny, ułożone wzdłuż przejścia, w celu nakierowania małych zwierząt na drugą stronę przejścia i stworzenia im możliwości schronienia się w razie niebezpieczeństwa.

W przypadku większych zwierząt, w celu nakierowania ich na drugą stronę, wprowadza się wzdłuż krawędzi obiektu zagajniki, duże karpiny, kopczyki kamienne, pnie ściętych drzew i nasadzenia roślinne.

W podstawowych wytycznych ekologicznych COST 341 [42] podkreśla się, że w celu zapewnienia bezpieczeństwa przejścia małym kręgowcom i bezkręgowcom dobrana roślinność w zagospodarowaniu strefy najścia i migracji powinna je naprowadzać na przejście i kierować na drugą stronę, tworząc odpowiedni korytarz siedliskowy.



Ryc. 4.41. Przykład zagospodarowania terenu przejścia, gdy droga gruntowa znajduje się na obiekcie z ekranami odchylonymi o 45° od osi drogi



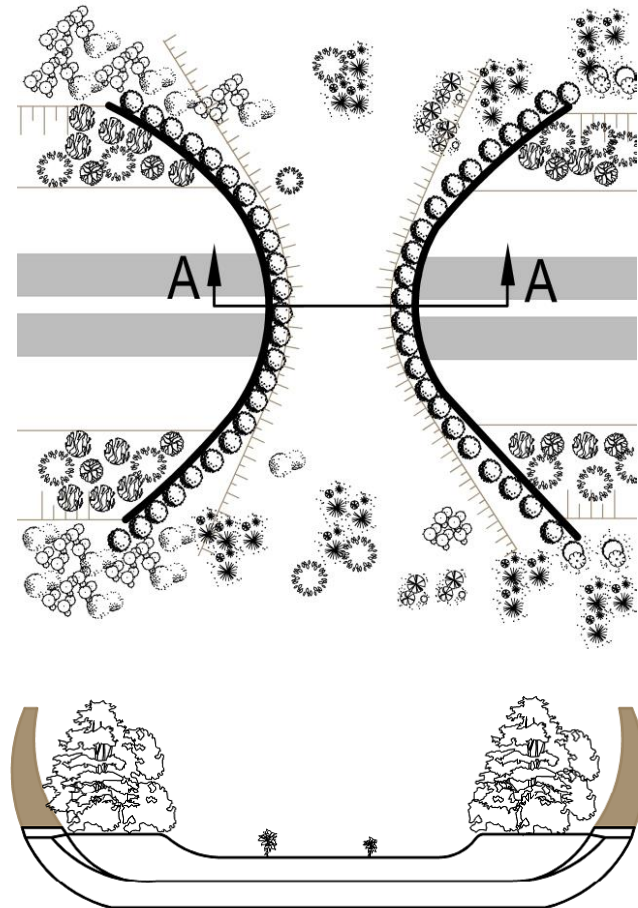
Ryc. 4.42. Przykład zagospodarowania terenu przejścia, gdy droga gruntowa znajduje się na obiekcie z ekranami ukierunkowanymi równoległe do osi drogi

Źródło: opracowanie graficzne na podstawie pracy [28, s. 25].

4.4. Zagospodarowanie strefy migracji na przejściu górnym

Analiza przytoczonych w niniejszej monografii przykładów przejść górnych, wybudowanych w Holandii, we Francji, w Austrii, Szwajcarii, Niemczech i w Polsce, pozwoliła na sformułowanie kilku praktycznych zaleceń odnośnie do zagospodarowania ich powierzchni. W zależności od konkretnych potrzeb można przejście na powierzchni obiektu zagospodarować bogato zielenią, podobnie jak na obiektach wybudowanych we Francji nad autostradą A36 (ryc. 2.32–2.35) czy w Austrii (ryc. 2.38). Powierzchnię przejścia można też zagospodarować w sposób umiarkowany, jak to często dotychczas robiono w Niemczech lub Holandii, albo pozostawić teren do samoistnej ekspansji roślinnej, jak to się czyni obecnie w Holandii.

Krajem, w którym bogato zagospodarowuje się powierzchnie przejścia górnego, jest Francja. Przedstawione na rycinach 2.32–2.36 mosty zielone są wąskimi przejściami zespolonymi, o parabolicznej konstrukcji. W najściach i na powierzchni przejścia zastosowano gęste nasadzenia, szczególnie przy krawędzi obiektu (ryc. 4.43). Na powierzchni przejścia uformowano niewysokie wały ziemne (ryc. 4.43), które są przedłużone poza powierzchnię obiektu i łączą się z naprowadzeniami. Przytoczone na ryc. 2.32–2.36 przejścia zespolone, znajdujące się nad autostradą A36 we Francji, są bogato zagospodarowane zielenią, choć ich szerokość jest rzeczywiście niewielka – wynosi od ok. 8 do 14 m. Na jednym z przedstawionych mostów zielonych znajduje się droga z nawierzchnią asfaltową (ryc. 2.32), a na pozostałych trzech mostach znajdują się drogi leśne z nawierzchnią gruntową. Powyższy sposób projektowania przejść górnych i zagospodarowania terenu przejścia zalecany był w wytycznych [195] i praktycznie przez wiele lat większość przejść górnych we Francji było projektowanych i budowanych w podobny sposób (ryc. 4.44–4.47).



Ryc. 4.43. Plan rozmieszczenia nasadzeń na powierzchni mostu zielonego oraz przekrój poprzeczny przejścia
 Źródło: opracowanie graficzne na podstawie pracy [195, rys. 11, s. 22].



Ryc. 4.44. Zagospodarowanie przejścia, o szerokości 12 m, wybudowanego w terenie rolniczym, z bogato zagospodarowaną strefą buforową
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.45. Zagospodarowanie przejścia, o szerokości 12 m, wybudowanego w terenie rolniczym, z wyraźnie wydzielonymi najściami w strefie buforowej
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W powyższych przykładach przy ekranach drewnianych uformowany jest od strony przejścia niewysoki wał ziemny, na którym sadzone są gęsto krzewy. Zagospodarowanie na poszczególnych mostach tylko tym się różniło, że dobrane gatunki nasadzeń powielały okoliczną roślinność, przy czym na skarpach wykopu drogowego sadzona była roślinność przydrożna odporna na zanieczyszczenia, suszę, mróz i zasolenie,

a w naprowadzeniach – roślinność wabiąca zwierzęta. Bezpośrednio na obiekcie, na wałach, sadzone były również krzewy powielające gatunki z najbliższego otoczenia, a w strefie migracji – trawy odporne na suszę i zioła.



Ryc. 4.46. Zagospodarowanie przejścia, o szerokości 10 m, wybudowanego w terenie leśnym, z bardzo bogato zagospodarowaną strefą buforową
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.47. Zagospodarowanie przejścia zespolonego, o szerokości 10 m, wybudowanego w terenie leśnym, z otwartą strefą migracji i bogato zagospodarowaną strefą buforową z wydzielonymi najściami
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Na wszystkich przytoczonych wyżej przejściach górnych wybudowanych we Francji stosowano ekran w liniach rozchylających się parabolicznie w kierunku najścia. Najścia zawsze były nakierowane na oś przejścia, a naprowadzenia były gęsto obsadzone drzewami oraz krzewami, podobnie jak skarpy przyczółków. Natomiast strefa migracji, oprócz nasadzeń na wałach, była powierzchnią otwartą i prawie zawsze była na niej zlokalizowana droga, czasami z nawierzchnią asfaltową (ryc. 4.48), a czasami z nawierzchnią gruntową (ryc. 4.49). Przy szerszych przejściach (ryc. 4.50, 4.51) strefę migracji raczej pozostawiano jako przestrzeń otwartą.

Na autostradach budowanych kilka lat temu Francuzi również zastosowali powyżej przedstawione zasady. Rzadko, gdy wybudowane przejścia były szersze (ryc. 4.48, 4.49), ale zawsze przy mniej lub więcej ażurowych ekranach drewnianych był formowany niewysoki wał, na którym gęsto sadzono gatunki krzewów z pobliskiej okolicy. Takie rozwiązania były stosowane we Francji, bez względu na faktyczną szerokość przejścia (ryc. 4.50, 4.51).

Podobne zasady zagospodarowania strefy migracji stosowano w Szwajcarii i Austrii (ryc. 4.52, 4.53). Niezależnie od tego, czy były to mosty krajobrazowe czy mosty zielone, przy ich krawędziach, za ogrodzeniem siatkowym, formowane były wały, o wysokości ok. 1,5–2,0 m, na których sadzono bardzo gęsto różnorodne krzewy, natomiast strefa migracji z reguły obsiana była tylko trawą i ziołami. Bywało jednak i tak, że samoistna ekspansja okolicznej roślinności w ciągu kilkunastu lat powodowała stopniowe zarastanie powierzchni krzewami. Szczególnie widoczne jest to na moście krajobrazowym przedstawionym na ryc. 4.52. Na ryc. 4.53 przedstawiono most zielony wybudowany w Austrii, którego szerokość pomiędzy krawędziami obiektu wynosi 25 m, szerokość faktyczna przejścia – 12 m, wliczając w to drogę gruntową o szerokości 5 m. Analiza sposobu zagospodarowania powierzchni obu mostów wskazuje, że budowanie wałów ziemnych i sadzenie na nich krzewów tworzy osłonę izolacyjno-ochronną, przyczyniającą się do zwiększenia funkcjonalności przejść górnych. Natomiast pozostawienie powierzchni przejścia obsianego tylko trawą do samodzielnej ekspansji rozwoju roślinności, jak wykazuje analiza poszczególnych zdjęć satelitarnych z Google Earth [163], dokumentowanych prawie corocznie od 2000 r., daje dobre rezultaty. Zwierzęta w miarę upływu czasu akceptują dane przejście, które z czasem asymiluje się z otoczeniem.



Ryc. 4.48. Przejście zespolone, o szerokości faktycznej 20 m, z bardzo wąskim terenem migracji po obu stronach drogi (szerokość obiektu wynosi 32 m)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.49. Przejście zespolone z ukośnie zlokalizowaną drogą gruntową przecinającą w poprzek otwartą strefę migracji, o szerokości 18 m (szerokość obiektu wynosi 37 m)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.50. Przejście zespolone, o łącznej szerokości faktycznej 35 m, z bardzo słabo zagospodarowaną strefą migracji (szerokość obiektu wynosi 150 m)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.51. Przejście zespolone, o szerokości faktycznej 135 m, z otwartą niezagospodarowaną strefą migracji (szerokość obiektu wynosi 350 m)
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.52. Most krajobrazowy, o szerokości faktycznej 110 m, z prawidłowo zagospodarowaną strefą migracji
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

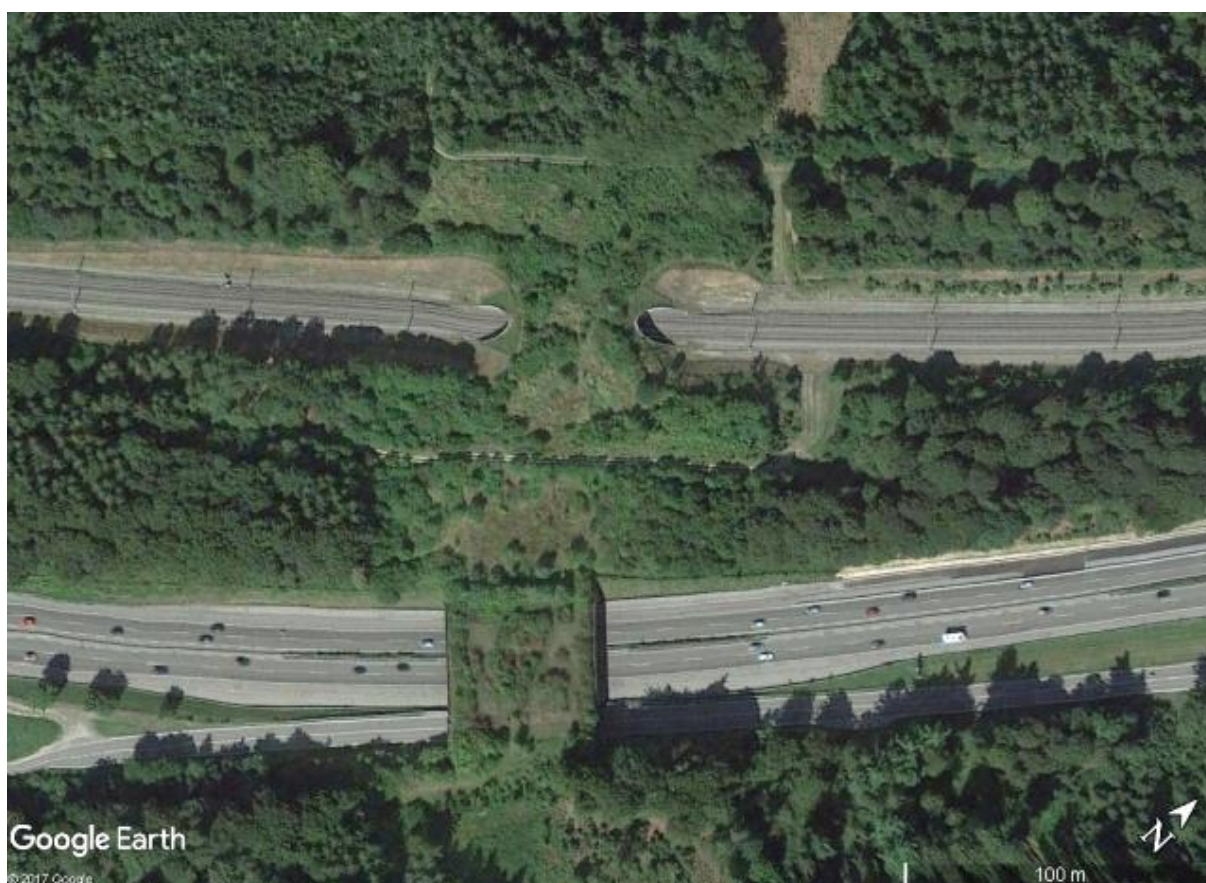


Ryc. 4.53. Przykład zagospodarowania strefy migracji przejścia pomiędzy dużym kompleksem leśnym a terenem rolniczym
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

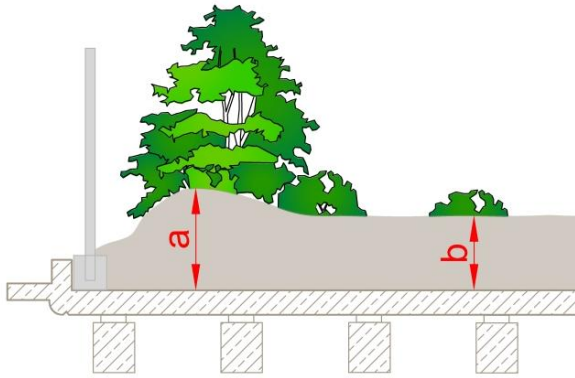
Kolejnym bardzo dobrym przykładem zagospodarowania terenu przejść górnych, wg najnowszych tendencji projektowych, są dwa mosty zielone wybudowane nad autostradą A1 i dwutorową linią kolejową w Szwajcarii (ryc. 4.54). Szerokość przejścia nad autostradą, mierzona pomiędzy krawędziami prostokątnej płyty żelbetowej, jest równa 48 m, a szerokość faktyczna przejścia, mierzona pomiędzy wałami ziemnymi, wynosi 34 m. Natomiast szerokość przejścia nad linią kolejową, wykonanego z blach falistych, wynosi 42 m, przy faktycznej szerokości przejścia, mierzonej pomiędzy wałami ziemnymi, równej 22 m. Na ryc. 4.54 widać wyraźnie, jak postępuje ekspansja roślinności na powierzchni przejścia, pozostawionej do samoistnego rozwoju roślinności, bez konieczności stopniowego jej przycinania.

Na podstawie analizy zagospodarowania powierzchni przejścia na obiektach wybudowanych w XX w. w różnych krajach Europy i w ostatnich latach w Holandii można stwierdzić, że były zalecane podstawowe dwa typy ekranów i wałów na terenie obiektu. W pierwszym przypadku zalecano stosowanie ekranów drewnianych, szczelnych lub ażurowych, i formowanie za nimi, od strony strefy migracji, wałów ziemnych, na których sadzono różnego rodzaju krzewy (ryc. 4.55). Nasadzenia na wale pełniły wówczas równocześnie funkcję przeciwołśnieniową i osłonową przed hałasem drogowym i zanieczyszczeniami.

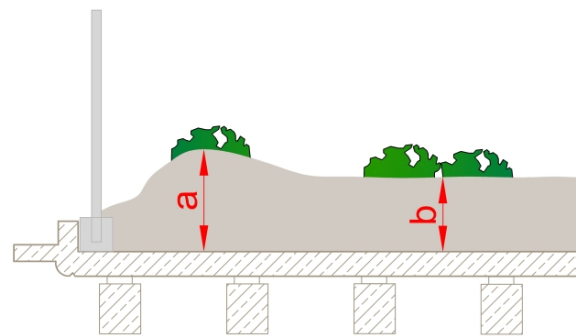
Na ryc. 4.55–4.58 podano różnice miąższości warstwy gruntu w dwóch miejscach obiektu – przy jego krawędzi i w strefie migracji. Obowiązujące w Polsce grubości warstwy gruntu na powierzchni obiektu przedstawiono w rozdz. 4.1. Przy zalecanych grubszych warstwach gruntu w wytycznych zagranicznych zwraca się szczególną uwagę na potrzebę zabezpieczenia konstrukcji obiektu przed zawilgoceniem, np. w opracowaniu [124] szczegółowo opisano warstwy zabezpieczające konstrukcję mostową przed zawilgoceniem i zanieczyszczeniami. IV typ zagospodarowania, zalecany w najnowszych wytycznych [193, 234, 239], tj. pozostawienie strefy migracji do samoistnej ekspansji roślinności, przedstawiono na ryc. 4.58.



Ryc. 4.54. Przykład jednakowego zagospodarowania powierzchni połączonych dwóch przejść wybudowanych na terenie leśnym nad autostradą A1 i nad linią kolejową w Szwajcarii, koło Kernried
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

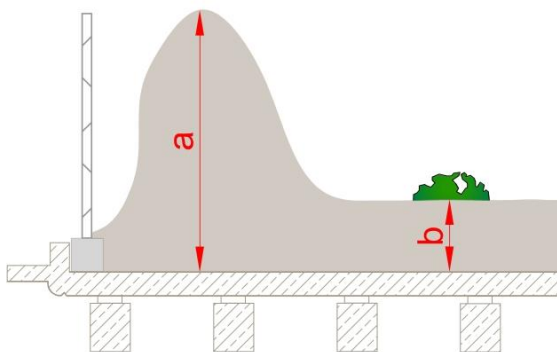


Ryc. 4.55. I typ zagospodarowania – ekran i niewysoki wał ziemny, z posadzonymi krzewami w celu ochrony zwierząt przed hałasem i światłami drogowymi, przy niewielkich różnicach grubości gruntu na krawędzi obiektu i w strefie migracji

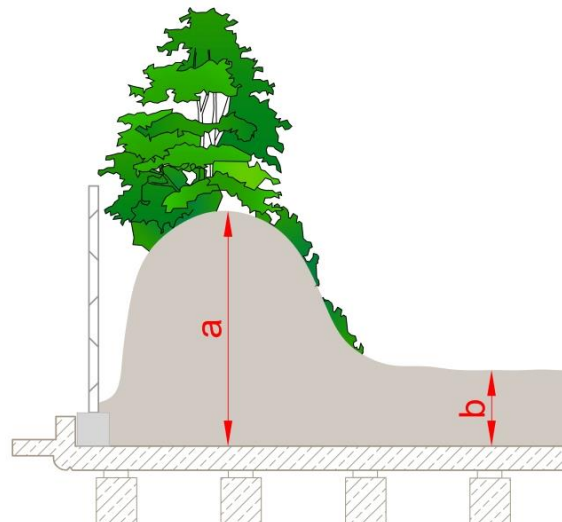


Ryc. 4.56. II typ zagospodarowania – nieprzezroczysty ekran szczelny, przeciwośnieniowy i przeciwhałasowy, oraz bardzo ubogie zagospodarowanie strefy migracji, przy niewielkich różnicach grubości warstwy gruntu

Oznaczenia na ryc. 4.55–4.58: a – grubość warstwy gruntu bliżej krawędzi obiektu, czyli wysokość wału ziemnego wysokiego lub niskiego; b – grubość miąższości warstwy gruntu na faktycznej szerokości strefy migracji



Ryc. 4.57. III typ zagospodarowania – ogrodzenie siatkowe i wysoki wał ziemny, z posadzonymi krzewami w celu ochrony zwierząt przed hałasem i światłami drogowymi, przy dużej różnicy grubości gruntu w strefie migracji i wysokości wałów ziemnych na krawędzi obiektu

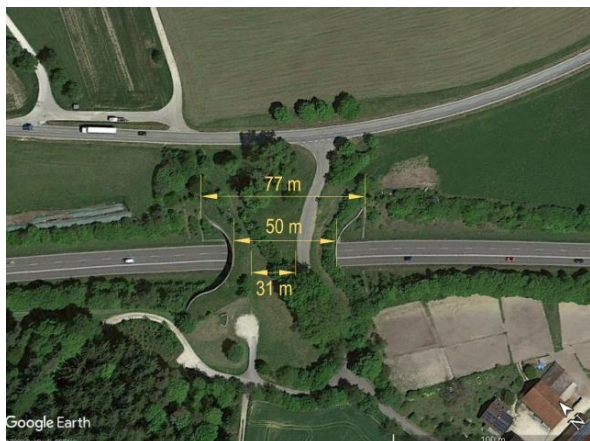


Ryc. 4.58. IV typ zagospodarowania – ogrodzenie siatkowe lub ażurowy ekran drewniany i wysoki wał ziemny, chroniący zwierzęta przed hałasem i światłami drogowymi, przy dużej różnicy grubości gruntu w strefie migracji i wysokości wałów ziemnych na krawędzi obiektu

Na terenach bardziej suchych lub na terenie pól uprawnych, zgodnie z zaleceniami zawartymi w wytycznych [42, 52, 136, 195], powinno się stosować szczelne ekrany, które pełnią równocześnie obie funkcje – ochronne i izolacyjne. Za ekranem, na nierówno uformowanej powierzchni strefy migracji, można posiać tylko trawę i zioła, ale wg najnowszych holenderskich zasad projektowych zaleca się oddawanie do użytku przejścia górnego z tylko uformowanym nierówno gruntem urodzajnym, z zamiarem pozostawienia strefy migracji do samodzielnej ekspansji okolicznej roślinności (ryc. 4.56). Powyższe zalecenia szczególnie dotyczą obiektów wykonanych z blach falistych (ryc. 3.67, 3.68), ale mogą być też stosowane na konstrukcjach płytowych (ryc. 3.69, 3.70).

Ostatnio po wielu eksperymentach, szczególnie prowadzonych w Holandii, Belgii i we Francji, stosuje się na krawędzi obiektu ogrodzenia siatkowe lub ekrany ażurowe drewniane, ale za nimi, co jest bardzo ważne, formuje się wysokie wały ziemne, które z reguły pozostawia się do ekspansywnego rozwoju okolicznej

roślinności (ryc. 4.57). Czasami wały ziemne i powierzchnię obiektu obsiewa się jednak trawą i ziołami. Na ryc. 4.58 przedstawiono sposób zagospodarowania, stosowany coraz częściej w Holandii [136] na ostatnio wybudowanych obiektach, tj. uformowanie za ogrodzeniem siatkowym lub za ekranem betonowym, scalonym z konstrukcją obiektu, wysokich wałów ziemnych bez jakiegokolwiek zagospodarowania zielenią i pozostawienie całej strefy migracji do samoistnej ekspansji roślinności.



Ryc. 4.59. Most zielony Länglehof (szerokość w strefie najścia – 77 m, największa szerokość obiektu – 50 m, faktyczna szerokość w strefie migracji – 31 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.60. Most zielony Nesselwangen (szerokość w strefie najścia – 40 m, największa szerokość obiektu – 30 m, faktyczne szerokości w strefie migracji – 6 i 10 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Kolejnym przykładem zagospodarowania powierzchni mostów zielonych zespolonych mogą być obiekty wybudowane w Niemczech w okolicy Jeziora Bodeńskiego, nad drogą B31n. Są to obiekty znane z literatury dotyczącej zagadnień ekologicznych, w szczególności przejść górnych, na których wykorzystano m.in. różne przykłady zagospodarowania wskazane na ryc. 4.34, 4.35 oraz 4.59–4.61. W Badenii na wielu mostach zielonych, podobnie jak we Francji, zlokalizowano lokalne drogi z nawierzchnią gruntową, prowadzące do pojedynczych gospodarstw rolnych (ryc. 4.34, 4.35 oraz 4.59–4.61, z wyjątkiem mostu krajobrazowego – ryc. 4.62). Drogi są różnie zlokalizowane na powierzchni przedstawionych mostów – jedne są bliżej krawędzi obiektu, a drugie – pośrodku obiektu. Wszystkie jednak mają na krawędziach uformowane wały, na których gęsto posadzone są różne rodzaje krzewów.



Ryc. 4.61. Most zielony Schwarzgraben (szerokość w strefie najścia – 57 m, największa szerokość obiektu – 50 m, faktyczna szerokość w strefie migracji – 29 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



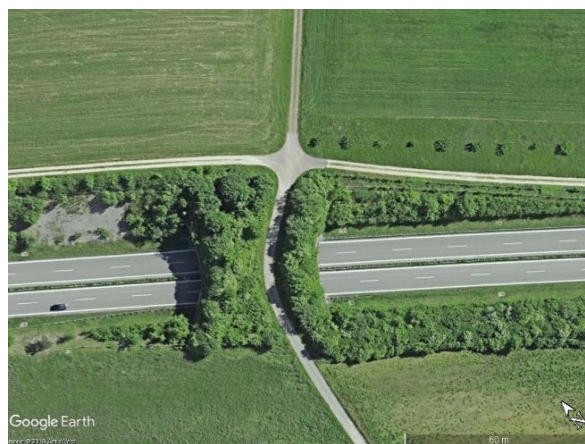
Ryc. 4.62. Most krajobrazowy Weiherholz (szerokość w strefie najścia – 96 m, największa szerokość obiektu – 81 m, faktyczna szerokość w strefie migracji – 63 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przejścia nad drogą B31n wybudowano pod koniec XX w. Od tego czasu minęło sporo czasu, w związku z czym samoistna ekspansja roślinności widoczna jest szczególnie na moście zielonym Länglehof (ryc. 4.59) oraz na moście krajobrazowym Weiherholz (ryc. 4.62). W każdym przytaczanym przypadku zastosowano ten sam typ konstrukcji, przy różnych faktycznych szerokościach danego przejścia. Na wszystkich przejściach na krawędzi obiektu zastosowane jest ogrodzenie siatkowe, za którym uformowano wysoki wał ziemny, obsadzony szczelnie i gęsto krzewami, podobnie jak na ryc. 4.57. Podobne nasadzenia zastosowano na skarpach wykopu i przyczółków, co pozwoliło po kilku latach utworzyć szczelne osłony przeciwośluniowe i przeciwhałasowe. Gęste i szczelne nasadzenia na skarpach wykopu i wałach ziemnych chronią zwierzęta również przed zanieczyszczeniami drogowymi.

Bazując na doświadczeniach dotyczących przejść górnych nad drogą B31n, wybudowano nad drogą B33 w Niemczech, w okolicy wsi Markelfinge, kolejne dwa mosty zielone na terenach rolniczych (ryc. 4.63, 4.64). Uwzględniając odsłonięte tereny rolnicze, umożliwiono zwierzętom migrację, tworząc niewielkie siedliska leśne. Strefy migracji są bogato zagospodarowane zielenią. Na obu mostach znajdują się drogi lokalne o nawierzchni gruntowej, służące do czasowych przejazdów rolników i dojazdu do pojedynczych gospodarstw rolnych. Natężenie ruchu na drodze jest znikome. Zwraca uwagę bardzo bogate zagospodarowanie skarp wykopu drogowego w najbliższej okolicy obiektu oraz bardzo gęste różnorodne nasadzenia na skarpach przyczółków, co pozwoliło w strefie migracji stworzyć dobry mikroklimat (ryc. 4.63–4.66). Gęstość nasadzeń na skarpach wykopu i na skarpach w okolicy przyczółków szczególnie widoczna jest na ryc. 4.65 i 4.66. Szerokość faktyczna obu mostów wynosi 36 m, a szerokość dróg znajdujących się na nich jest równa 3,5 m. Cały pozostały teren obiektu poza drogą, jest bogato zagospodarowany zielenią. Wały ziemne odgradzające teren przejścia mają wysokość ponad 3 m, a posadzone krzewy wystają ponad wały dodatkowo na wysokość 3 m, co sprawia, że duże i małe zwierzęta z daleka widzą zagajnik leśny i mają dobre nakierowanie na przejście. Bardzo bogato zagospodarowane zielenią skarpy wykopu, równoległe do osi drogi B33, stanowią dla zwierząt naturalne naprowadzenia na przejście, co powoduje, że drogi lokalne wpisane w okoliczny krajobraz rolniczy nie oddziałują barierowo na migrujące zwierzęta.



Ryc. 4.63. Zagospodarowanie otoczenia i strefy migracji na moście zielonym Würtembergle w maju 2010 r. (szerokość w strefie najścia – 46 m, najwęższa szerokość obiektu – 36 m, faktyczne szerokości w strefie migracji – 13 i 4 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.64. Zagospodarowanie otoczenia i strefy migracji na moście zielonym Hohreute w maju 2010 r. (szerokość w strefie najścia – 45 m, najwęższa szerokość obiektu – 35 m, faktyczne szerokości w strefie migracji – 14 i 5 m)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przykłady przedstawione na ryc. 3.87 i 4.60 mają nieprawidłowo zaprojektowaną drogę na obiekcie zespolonym, co może znacznie utrudnić zaakceptowanie przejścia przez zwierzęta, szczególnie przy zastosowanej szerokości strefy migracji. Rozwiązanie przedstawione na ryc. 4.34 też może budzić wątpliwości odnośnie do lokalizacji drogi na środku strefy migracji i z zakrzywionym jej przebiegiem w planie. Jednak uwzględniając szerokość obiektu (ryc. 4.34) prawie dwa razy większą niż obiektu przedstawionego na ryc. 4.59, prawdopodobnie usytuowanie drogi pośrodku przejścia, z pozostawieniem szerokiej

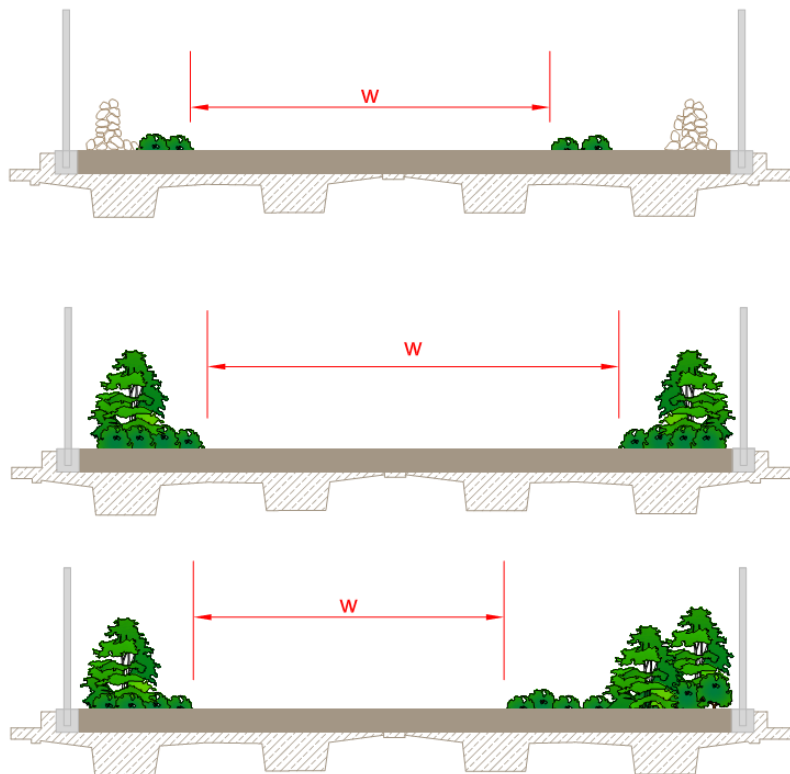
powierzchni „zielonej” dla zwierząt, nie stanowi dla nich psychicznej bariery w migracji. Zgodnie z polskimi wytycznymi po obu stronach drogi na obiekcie zespolonym powinno się zostawić teren co najmniej 1/3 szerokości przejścia dla zwierząt [121] (zob. rozdz. 4.3). Przedstawione na ryc. 4.59, 4.61, 4.63 i 4.64 pozostałe obiekty zespolone mają zapewnioną odpowiednią przestrzeń dla zwierząt, choć nie zawsze droga jest na nich zlokalizowana przy krawędzi obiektu i dzieli niepotrzebnie strefę migracji na wąskie pasy.



Ryc. 4.65. Zagospodarowanie otoczenia i strefy migracji na moście zielonym Württembergle w grudniu 2011 r.
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.66. Zagospodarowanie otoczenia i strefy migracji na moście zielonym Hohreute w grudniu 2011 r.
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.67. Trzy przykłady rozmieszczenia w strefie migracji nasadzeń lub wałów ze skał, lub z karpin i wyznaczenia faktycznej szerokości strefy migracji w , mierzonej w najwęższym miejscu przejścia

Przy planowaniu zagospodarowania powierzchni obiektu jest możliwe różne rozmieszczenie planowanych nasadzeń i wałów (ryc. 4.67). Wały mogą być wykonane z gruntu nawiezonego, ze skał, z głazów, pni

ściętych drzew lub karpin. Przestrzeń otwarta przewidziana do migracji zwierząt może być różnie zlokalizowana na powierzchni obiektu, tj. może znajdować się w jego środkowej części lub niesymetrycznie z jednej strony. W zależności od zaplanowanego położenia wałów ziemnych, nasadzeń z krzewów, szeregu uformowanego z karpin lub pni ściętych drzew mierzy się faktyczną szerokość przejścia (ryc. 4.67) udostępnioną dla zwierząt. Przy czym faktyczną szerokość przejścia mierzy się w najwęższym miejscu na obiekcie. Należy pamiętać, że z reguły przy najściu, w okolicy nad przyczółkami, kończą się jeszcze zagajniki naprowadzające zwierzęta na obiekt, w związku z czym szerokości ścieżek migracji, mierzone pomiędzy zagajnikami w najściu, nie stanowią faktycznej szerokości przejścia górnego.

W polskich wytycznych zaleca się, by na przejściu zespolonym droga lokalna, z dobowym natężeniem ruchu do 150 P/24h, znajdowała się blisko krawędzi obiektu [121], co znajduje swoje uzasadnienie w pozostawieniu zwierzętom otwartej przestrzeni do ich egzystencji. W zależności od warunków środowiskowych naturalnego siedliska podzielonego drogą oraz gatunków zwierząt w nim zamieszkujących karpiny i głązy stanowią, po pierwsze, ukierunkowanie ruchu zwierząt podczas migracji, a po drugie są strukturą ochronną, w której mniejsze zwierzęta mogą się schronić.

Istotną funkcją wałów jest izolacja zwierząt od ruchu drogowego, hałasu i zanieczyszczeń drogowych. Wały mogą być uformowane z nawiezonego gruntu, ułożone z karpin, luźnych głazów lub z gabionów kamiennych. Przy korzystaniu z przejścia przez małe zwierzęta zdecydowanie najlepszym rozwiązaniem jest uformowanie wzdłuż przejścia niskich wałów z luźno ułożonych głazów, gdyż osiąga się w ten sposób imitację naturalnego siedliska. Gabiony kamienne są zawsze elementem sztucznym na przejściu, a siatka i jej sprężynowe połączenia mogą ranić zwierzęta lub stanowić barierę psychiczną, odstraszać je. Z czasem głązy obrosną trawą lub mchem, tworząc mikrosiedliska dla małych zwierząt (ryc. 4.68), jednak jest to długotrwały proces. Jeśli na przejściu planuje się ułożenie gabionów, to powinny one być zasłonięte słomą, karpinami z resztkami systemu korzeniowego, z ekranem drewnianym lub bluszczem, a także, w początkowym okresie, obłożone częściowo mchem, co przyspieszy proces zarastania i zasłoni te sztuczne elementy przed wzrokiem zwierząt.

Na terenie przejścia w celach ochronnych powinny być uformowane niewielkie stosiki głazów, które są miejscem schronienia dla mniejszych zwierząt (ryc. 4.69). Powinny one być luźno ułożone i może ich być kilka na powierzchni obiektu. Czasami jednak, gdy dysponuje się większą ilością głazów, można je ułożyć w szeregu, w kształcie murka lub w formie niewielkich kopców, o średnicy ok. 1 m i wysokości do 0,7 m [152]. Przy takich stosikach z głazów mogą schronić się mniejsze zwierzęta (typu zając lub jeź), więc nie są one czymś osobliwym, choć lepsze pod tym względem są karpiny. Na wskazanym na ryc. 4.69 przykładzie uformowane mniejsze kopczyki głazów, o średnicy do 30 cm, nie rażą i zachowują pewną naturalność.



Ryc. 4.68. Przykład wału ułożonego z gabionów, wolno porastającego trawą i mchem



Ryc. 4.69. Przykład luźnych stosików uformowanych z niewielkich głazów na powierzchni przejścia

Na ryc. 4.70 przedstawiono przykład przejścia górnego z Niemiec, wybudowanego nad drogą krajową B96, koło wsi Wilmshagen. Most zielony, o szerokości 44 m, ma kształt prostokątny; wybudowany został na terenie rolniczym (ryc. 3.51, 3.52). Na jego krawędzi wybudowano ekrany drewniane, które poza linią przyczółków poprowadzono równoległe do drogi (ryc. 2.18). Zwracają uwagę na powierzchni mostu i na dojazdach luźno uformowane stopy większych głazów. W początkowym okresie użytkowania mostu stopy kamienne stanowiły jedyne formy zagospodarowania (ryc. 4.70).



Ryc. 4.70. Przykład początkowego zagospodarowania powierzchni mostu i otoczenia w postaci kopców ułożonych z dużych głazów, widocznych w strefach: dojścia, najścia i migracji; stan mostu zielonego w 2009 r.
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Średnica kopców uformowanych z głazów wynosi ok. 2–3 m. Same głazy różnią się bardzo wielkością – niektóre mają ok. 1 m wysokości, a inne 30 cm. Jednak kopczyki i bardzo rzadko posadzone pojedyncze krzewy stanowią jedyne zagospodarowanie powierzchni przejścia (ryc. 4.71). Przejście górne znajduje się na terenie otwartym rolniczym i jest przeznaczone głównie dla zwierząt polnych. Niewielkie zagajniki krzewów stanowią jednak siedliska kilku gatunków zwierząt. Przed budową drogi krajowej był to teren rolniczy, z niewielkimi zagajnikami zieleni rozproszonymi wśród pól uprawnych (ryc. 3.52). Podczas budowy drogi krajowej B96 połączono kilka siedlisk w jedno duże siedlisko, z myślą o wyznaczeniu kierunku migracji zwierząt polnych (ryc. 3.51).



Ryc. 4.71. Stan zagospodarowania terenu przejścia w 2017 r. – teren otoczenia i mostu pozostawiono do samostmej ekspansji roślinności; uformowane kopce z dużych głazów są obecnie mniej widoczne w strefie migracji i najść
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Podobne zagospodarowanie i duże stopy kamienne zastosowano na przejściu górnym wybudowanym nad autostradą A14 w Niemczech, koło Jesendorf (ryc. 4.72, 4.73) [152]. W danym przypadku po cztery stopy kamienne zastosowano z obu stron najścia, koło drogi gruntowej; wzdłuż drogi ułożone są duże głazy, o średnicy ok. 1 m, za którymi posadzono rząd krzewów. Strefa migracji na obiekcie jest bardzo skromnie

zagospodarowana, ale z obu stron najścia, poza linią przyczółku, uformowano nieregularne zagajniki, które pełnią głównie funkcje naprowadzającą i ochronną (ryc. 4.73).



Ryc. 4.72. Stan początkowego zagospodarowania w 2009 r. strefy migracji i najść na przejście zespolone
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.73. Stan zagospodarowania w 2017 r. strefy migracji i najść na przejście zespolone (widoczna jest duża ekspansja roślinności)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Innym bardzo istotnym elementem zrównoważonego zagospodarowania jest ułożenie na otwartej przestrzeni przejścia dużych głazów, utrudniających ludziom przejazd przez to przejście (ryc. 4.74, 4.75). Jest to bardzo skuteczny sposób uniemożliwienia ludziom przejazdu przez obiekt, co pozwala przeznaczyć teren przejścia tylko do migracji zwierząt. Innym sposobem jest układanie karpin w nieregularne stosy (ryc. 4.4, 4.5) lub układanie dużych karpin pojedynczo (ryc. 4.76, 4.77). Czasami stosuje się też różnie ułożone ścięte pnie drzew (ryc. 4.4, 4.5); mogą to być rzędy wielopiętrowo ułożonych, skrzyżowanych pni, a czasami mogą to być pnie z resztkami nieuciętych gałęzi. Układanie w stosy i wały karpin na mostach zielonych jest bardzo popularne i rozpowszechnione w Holandii (ryc. 3.74, 3.78). W Polsce stosuje się raczej układanie głazów w szereg (ryc. 4.77), a karpiny układa się pojedynczo (ryc. 4.75, 4.76).



Ryc. 4.74. Duże głazy, o średnicy ok. 1 m, ułożone w szereg na moście zielonym Barnekow w Niemczech



Ryc. 4.75. Głazy ułożone w szereg przy wejściu w strefę migracji na moście zielonym wybudowanym na drogą ekspresową S3 w Polsce, koło Popowa
Źródło: fot. Piotr Pacelik [156].

Karpiny powinny być rozłożone w strefie migracji, ale mogą być również ułożone luźno w strefach najścia lub strefach naprowadzająco-osłonowych (ryc. 4.76, 4.77), lub w formie wałów (ryc. 4.3, 4.4, 4.5), a także w nieregularnych skupiskach, tworząc luźne formy (ryc. 4.78).



Ryc. 4.76. Pojedyncze karpiny i głązy ułożone na powierzchni mostu zielonego
Źródło: fot. Piotr Pacelik [156].



Ryc. 4.77. Karpiny i pojedyncze nasadzenia na powierzchni mostu zielonego wybudowanego nad S3

W Holandii często na przejściach zespolonych stosuje się, z racji pozostawiania na obszarze przejścia tylko czystego gruntu lub co najwyżej gruntu obsianego trawą, układanie na części obiektu pni po ściętych drzewach (ryc. 4.79). Jednym z najsłynniejszych rozwiązań zagospodarowania tego typu jest most zielony Slabroek, ze ścieżką rowerową, z nawierzchnią asfaltową i częścią „zieloną”, z regularnie rozłożonymi poprzecznie pniami drzew, co uniemożliwia przejazd po „zielonej” części obiektu pojazdem lub rowerem [64, 124].



Ryc. 4.78. Nieregularnie ułożone karpiny w strefie najścia na przejściu Waterloo w Holandii, nad autostradą A73
Źródło: fot. Marcel Huijser [94].



Ryc. 4.79. Pnie ściętych drzew ułożone w strefie migracji na przejściu Slabroek; stan zaraz po oddaniu do użytku (2005–2007)
Źródło: fot. Marcel Huijser [94].

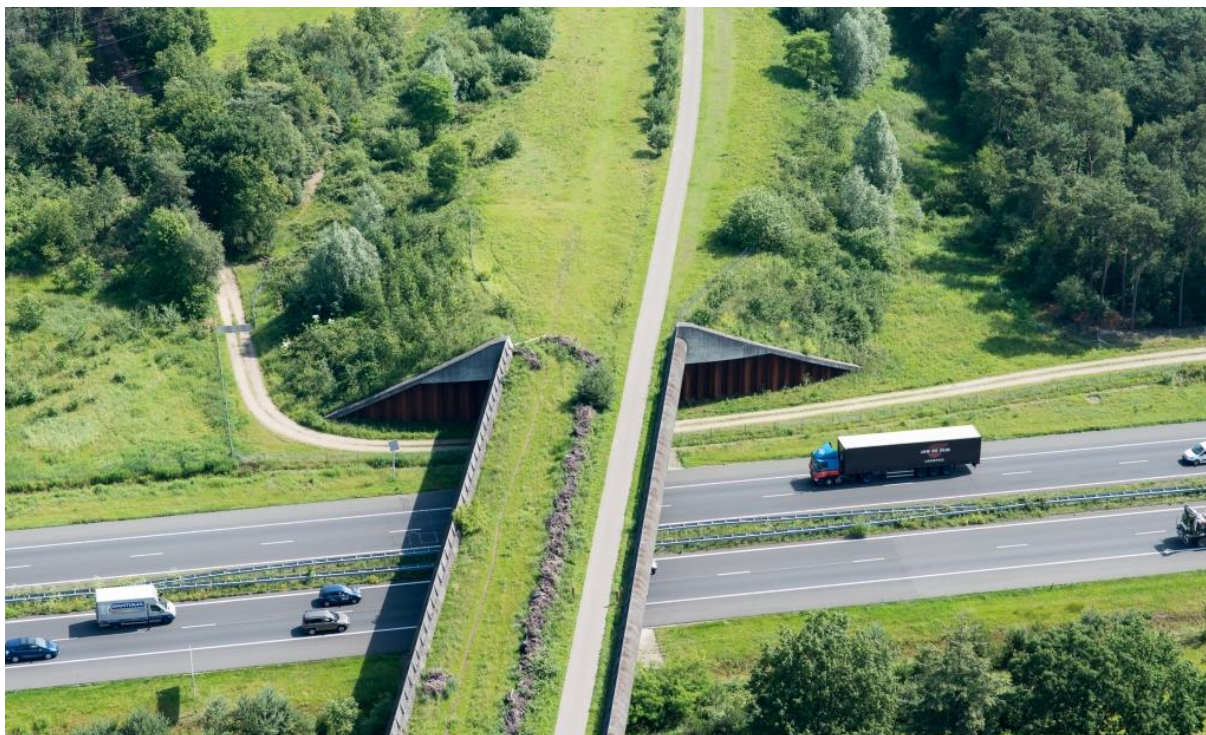
Przykłady zagospodarowania mostu Slabroek przedstawiono na ryc. 4.80–4.83. Strefę migracji dla zwierząt, wyznaczoną tylko przez zielen i rozłożone pnie ściętych drzew, przedstawiono na ryc. 4.79. Ścieżkę rowerową zaplanowaną na obiekcie odgradzono niewielkim wałem ziemnym od strefy migracji przeznaczonej dla zwierząt.

Po kilku latach eksploatacji mostu zielonego Slabroek nastąpiła samoistna ekspansja roślinności, a rozłożone wzdłuż ścieżki pnie i karpiny zarosły roślinnością, skutecznie odgradzając zwierzęta od ewentualnych rowerzystów. Stan obiektu po kilku latach eksploatacji przedstawiono na ryc. 4.80. Pnie drzew, na początku rozłożone poprzecznie w kilku miejscach na „zielonej” części przejścia, po kilku latach zlikwidowano, umieszczając je w formie rogatki z obu stron najścia na obiekt (ryc. 4.81, 4.82). Przy

drewnianych ekranach odchylonych na zewnątrz obiektu rozwinęły się po kilku latach bluszcze i inna roślinność. Po kilku latach eksploatacji ścieżkę rowerową od strefy migracji odgradzono wałem uformowanym z karpin (ryc. 4.83).



Ryc. 4.80. Zmienione po kilku latach zagospodarowanie powierzchni mostu zielonego Slabroek
Źródło: fot. State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat [63].



Ryc. 4.81. Początek wschodniego najścia na strefę migracji i jej wygradzenie karpinami po kilku latach użytkowania
Źródło: fot. State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat [63].



Ryc. 4.82. Początek zachodniego najścia na strefę migracji i jej wygrodenie po kilku latach użytkowania karpinami
Źródło: fot. State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat [63].



Ryc. 4.83. Odgródenie ścieżki rowerowej Slabroek od strefy migracji wałem uformowanym z karpin
Źródło: fot. State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat [63].

Na zakończenie powyższej analizy różnego zagospodarowania terenu przejść samodzielnych i zespolonych warto również wspomnieć o ostatnio stosowanych tendencjach pozostawiania strefy migracji do samoistnej ekspansji rozwoju roślinności. Obecnie coraz częściej w Holandii pozostawia się obiekty oddane do użytku nie całkiem zagospodarowane zielenią (tj. nasadzeniami krzewów i drzew). Zastosowanie nasadzeń na mostach jest bardzo drogim rozwiązaniem i wymaga w ciągu pierwszych lat eksploatacji obiektu, bogato zagospodarowanego zielenią, licznych zabiegów pielęgnacyjnych. W rozdz. 2, 3 i 4 przedstawiono wiele zdjęć satelitarnych obiektów już wybudowanych z różnym zagospodarowaniem, czasami z bardzo bogatymi nasadzeniami, a czasami z pozostawioną warstwą ziemi urodzajnej obsianej tylko trawą i ziołami.

W podstawowych wytycznych ekologicznych [42, 52] zawarto wiele zaleceń dotyczących końcowego zagospodarowania powierzchni obiektu, m.in. zalecono stosowanie do nasadzeń wyłącznie gatunków krzewów i drzew odzwierciedlających roślinność w rozdzielonym siedlisku lub na obszarze środowiskowym. Jeśli chodzi o wysiewanie traw i ziół, również tę kwestię pozostawiono do decyzji inwestora, tłumacząc, że „[...] spontaniczne prowadzenie może prowadzić do uzyskania dobrych wyników, alternatywą dla stosowania kosztownych mieszanek nasion może być przenoszenie materiału siewnego (siana, warstwy wierzchniej) z obszarów przylegających do przejścia [...]” [42, rozdz. 7, s. 20]. W nowszych wytycznych [52] wręcz zaleca się „[...] stosować tylko rodzime gatunki z tego samego regionu, replikujące lokalne cechy siedliskowe, powinny one być również przystosowane do trudnych warunków na obiekcie, gdyż w niektórych miejscach i porach roku mogą wystąpić warunki suszy [...]” [52, s. 31]. Natomiast w najściach na obiekt zaleca się stosowanie roślin i nasadzeń, które są preferowanymi źródłami żywności, czyli zachęcających i przyciągających do obiektu zwierzęta roślinożerne.

Jeśli chodzi o sadzenie małych drzew, w podstawowych zagranicznych wytycznych [42, 52, 64, 239] zaleca się je sadzić w najściach, gdzie warstwa rodzimego gruntu jest duża i gdzie rozwijające się korzenie drzew w miarę upływu lat nie będą negatywnie wpływać na konstrukcję obiektu i jego przyczółków. Ponadto powinny one być przesadzane z tego samego obszaru, by w pełni wykorzystać załazek źródła nasiennego i nie wprowadzić przypadkiem egzotycznych nasadzeń. Krzewy natomiast należy sadzić na wałach ziemnych, które mając odpowiednią wysokość, są w stanie zapewnić nieszkodliwy rozwój ich układu korzeniowego. W wytycznych projektowych różnych krajów wspomina się także o zaleceniach dotyczących utrzymania. Przede wszystkim w pierwszych latach użytkowania powinno się regularnie podlewać posadzoną roślinność lub zastosować w trakcie budowy przejścia naturalny system nawodnienia, jeśli w pobliżu jest jakiś zbiornik wodny (ryc. 4.6, 4.7). Można też, jeśli spadek terenu otaczającego jest skierowany na obiekt, zastosować konstrukcje zbierające wodę deszczową i rozpraszające ją po jego powierzchni; podobne rozwiązania zastosowane są np. na obiektach wybudowanych w Niemczech.

W wytycznych [52] zaleca się również stałą kontrolę wzrostu roślinności i w miarę jej bujnego wzrostu jej regularne koszenie, ale tylko wzdłuż trasy migracji, w środkowej części przejścia.

W wytycznych [52] odniesiono się również do topografii najścia na obiekt, zalecając, by znajdowało się ono na wysokości otoczenia. W celu zapewnienia optymalnej integracji przejścia z otoczeniem powinno się dostosować topografię najścia w taki sposób, by zapewniała płynne przejście z jednego siedliska do drugiego, bez zauważalnej różnicy w zagospodarowaniu otoczenia (ryc. 3.14, 3.15).

Podsumowującym powyższe zalecenia przykładem samoistnego ekspansywnego rozwoju okolicznej roślinności i zamiany tym samym zagospodarowania terenu przejścia może być charakterystyczne i znane z literatury przedmiotu, dotyczącej zagadnień ekologicznych, przejście wybudowane nad drogą N464 w Niemczech, w pobliżu Böblingen (ryc. 4.84). Obiekt wybudowano pod koniec lat 90. ub.w. nad drogą dwukierunkową trzypasową. Jest to konstrukcja łukowa jednoprzestrzenna. Szerokość obiektu wynosi 62 m, a szerokość faktyczna przejścia jest równa 50 m. Zwraca uwagę bardzo mała powierzchnia wycinki drzew oraz pozostawienie naturalnej roślinności bardzo blisko przyczółków i obiektu. Przy krawędzi obiektu zastosowano wysokie wały ziemne uformowane w linii falistej. Powierzchnia szerokich wałów ziemnych obsiana była tylko trawą. Na górze wału ziemnego posadzono nieliczne krzewy. Pomiędzy wałami teren przejścia został obsiany tylko trawami i ziołami gatunkowo zbliżonymi do roślinności odnotowanej

w pobliskiej okolicy. Stan rozwoju roślinności po kilku latach po wybudowaniu obiektu przedstawiono na ryc. 4.84a. Rok później na środowej części przejścia, na najbardziej „zielonej” części, samosiejki pobliskich krzewów zaczęły wypełniać przestrzeń przeznaczoną dla zwierząt (ryc. 4.84b).

Rozwój samoistnej ekspansji roślinności, a szczególnie niewielkiej wysokości krzewów doprowadził do zakrzewienia wałów ziemnych, które w tym czasie osiągnęły już wysokość 1–2 m (ryc. 4.84c). Ekspansja naturalna roślinności nastąpiła również w najściach na obiekt, na wałach ziemnych i poza nimi, co pozwoliło uszczelnić najścia i stworzyć naturalną osłonę ochronno-izolacyjną. Jednak trzeba podkreślić, że naturze zajęło to kilkanaście lat. Zasadniczą różnicę w zagospodarowaniu można również zaobserwować na skarpach wykopu – w ciągu kilkunastu lat krzewy samosiejki zazieleniły skarpy i stworzyły naturalną osłonę w najściach na obiekt. Stan zazielenienia obiektu, skarp i powierzchni przejścia w okresie wczesnej wiosny w 2017 r., czyli po prawie 20 latach od momentu oddania obiektu do użytku, przedstawiono na ryc. 4.84d.

a) stan zagospodarowania w 2005 r.



b) stan zagospodarowania w 2007 r.



c) stan zagospodarowania w 2012 r. (lipiec)



d) stan zagospodarowania w 2017 r. (marzec)



Ryc. 4.84. Przykład zmiany zagospodarowania terenu przejścia i samoistnego ekspansyjnego rozwoju okolicznej roślinności na powierzchni przejścia, wałach ziemnych i skarpach wykopu, odgradzających najścia na obiekt
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Warto również wspomnieć, że w zaleceniach zawartych w wytycznych projektowych [42, 52] odniesiono się do nasadzeń stosowanych na wałach ziemnych lub w przypadku braku wałów – do nasadzeń przy krawędzi obiektu. Nasadzenia te powinny być specjalnie dobrane, by były zgodne z tymi, które znajdują się w najbliższym otoczeniu obiektu, ale również pod względem ich odporności, przede wszystkim na mróz, suszę i zanieczyszczenia drogowe. Wysokość górnego poziomu rozwiniętej roślinności, zastosowanej na wałach lub przy krawędzi obiektu, ma jeszcze spełniać dodatkową funkcję, związaną z ewentualnym prowadzeniem trasy lotu nietoperzy, gdy obiekt znajduje się na tej trasie.

Ważnym czynnikiem zrównoważonego zagospodarowania terenu przejścia górnego bardziej przyjaznego zwierzętom jest zadbanie o część hydrograficzną. Jeśli w pobliżu przejścia znajduje się ciek lub jakiś naturalny zbiornik wodny, to trzeba zadbać o dobre naprowadzenie zwierząt do tego źródła wody pitnej. Często w zachodnich rozwiązaniach górnych przejść dla zwierząt planuje się specjalnie w strefie buforowej

lub w najściach na obiekt niewielkie oczka wodne, przyciągające zwierzęta do nich i w konsekwencji do przejścia. Przykładem takich rozwiązań mogą być most zielony Borkeld, wybudowany nad autostradą A1 w Holandii (ryc. 3.40), most zielony Het Groene Woud, wybudowany nad autostradą A2, w pobliżu Brna (ryc. 4.6 i 4.7), a także dwa najdłuższe mosty przedstawione na ryc. 2.66–2.69.

Dobrym przykładem powyższych obu interpretacji różnorodnych wytycznych jest obiekt wybudowany nad autostradą A61 w 2014 r. w parku krajobrazowym wokół zamku Lörsfeld (o łącznej powierzchni 10 ha), w Niemczech. Przed budową mostu rewaloryzowano dość duży obszar parku narodowego po wschodniej części autostrady, uwzględniając równocześnie również nakierowanie toru lotu nietoperzy na planowane przejście górne (ryc. 4.85).

a) brak nasadzeń w parku krajobrazowym, po wschodniej stronie autostrady A61, przed budową przejścia



b) rewaloryzacja obszaru leśnego po wschodniej stronie autostrady A61, w pobliżu wybudowanego mostu zielonego



Ryc. 4.85. Przykład dobrego zagospodarowania przejścia i otoczenia parku krajobrazowego, związanego z rewaloryzacją mającą na celu uzupełnienie nasadzeń drzew w pobliżu planowanego mostu zielonego
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Wybudowany obiekt ma 30 m szerokości i 50 m długości, po uwzględnieniu planowanego poszerzenia autostrady do w sumie sześciu pasów ruchu na obu jezdniach [172]. Obiekt stanowi część dużego projektu związanego z ochroną środowiska w Nadrenii Północnej-Westfalii. Konstrukcję zaprojektowano w systemie prefabrykatów, więc podczas budowy nie było znacznych utrudnień w ruchu, gdyż drogowcy przekierowali tymczasowo ruch na jedną z jezdni autostrady. Podstawowe parametry mostu zielonego również nie stwarzają ograniczeń w percepcji kierowców uczucia dyskomfortu z powodu ograniczonej widoczności, gdyż szerokość obiektu dwuprzęsłowego ma dobrze zaplanowane przyczółki, oddalone znacznie od krawędzi jezdni.

a) stan powierzchni mostu w 2015 r.



b) zagospodarowanie powierzchni mostu w 2017 r.



Ryc. 4.86. Rezultaty stopniowo wykonywanych prac rewaloryzacyjnych mających na celu uzupełnienie nasadzeń drzew, budowę oczek wodnych w strefie migracji i najścia, związanych m.in. z zapewnieniem ciągłości tras przelotu nietoperzy
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Na krawędzi obiektu wybudowane są nieprzezroczyste ekrany, o wysokości 3 m [172]. Za ekranami posadzono kilkuletnie drzewa, o określonej wysokości, nakierowujące nietoperze na trasę przelotu nad mostem zielonym (ryc. 4.86). Most służy nie tylko nietoperzom, choć główne zabiegi związane z zagospodarowaniem jego powierzchni były związane właśnie z nimi [172]. Na szczególną uwagę zasługują cztery niewielkie oczka wodne, które z jednej strony przyciągają zwierzęta, a z drugiej strony zapewniają właściwe warunki hydrograficzne w najbliższej okolicy najść, z obu stron (ryc. 4.86b). Wielkość uformowanych oczek jest nieduża (4 x 7 m), ale ich liczba jest dość znaczna. Obecnie (w 2018 r.) trwa rewaloryzacja parku i trwają prace związane z uzupełnieniem nasadzeń po zachodniej stronie autostrady (ryc. 4.86b).

4.5. Estetyka przejść górnych

Przejścia górne są przede wszystkim przeznaczone dla zwierząt, w związku z czym nie powinna być na nich planowana komunikacja związana z przemieszczaniem się ludzi. Ale nie zawsze jest to możliwe. Bywa, że na terenach rolniczych powinno się zapewnić przejazdy dla okolicznych rolników lub gdy np. w warunkach górskich nie ma możliwości budowy jeszcze jednego obiektu przeznaczonego dla ludzi, to wtedy powinno się projektować przejścia zespolone.

Oddzielnym zagadnieniem są przejścia górne powiązane z budową na nich ścieżek z nawierzchnią gruntową, przeznaczonych dla pieszych, rowerzystów lub jeźdźców konnych. Coraz częściej takie rozwiązania stosuje się w Holandii (ryc. 2.7 oraz ryc. 2.66–2.69), w Stanach Zjednoczonych (ryc. 2.12) i innych krajach.

Jednak w każdym przypadku, niezależnie od tego, czy przejście jest samodzielne, zespolone, czy możliwy jest na nich niewielki ruch samochodowy, czy tylko ruch pieszych lub rowerzystów, przejścia powinny być odpowiednio oznaczone. Na powierzchni przejścia górnego odpowiednie zlokalizowanie drogi powinno ludziom od razu wskazywać (ryc. 4.79), że teren „zielony” jest przeznaczony dla zwierząt.

Przykładem takiego rozwiązania może być wyżej opisane przejście górne Slabroek, wybudowane nad autostradą A50 (ryc. 4.80–4.83). W dotychczasowej praktyce krajowej i zagranicznej często ustawiano drogowe znaki zakazu wjazdu B-1, co niestety okazało się bezużyteczne. Obecnie w Holandii stosuje się w początkowym okresie układanie, poprzecznie do osi podłużnej przejścia, pni ściętych drzew (ryc. 4.79) [82], uniemożliwiając przejazd samochodem osobowym, lub ustawia się ścięte pnie drzew na słupkach drewnianych typu roгатki (ryc. 4.80–4.83), co uniemożliwia wjazd na teren przeznaczony dla zwierząt nawet samochodom ciężarowym [82]. Zastosowane przegrody drewniane na terenie leśnym nie rażą, w porównaniu ze znakami drogowymi B-1, są naturalne, a zwierzęta akceptują je jako naturalny element lasu. Zastosowane niewielkie wały ziemne z nasadzeniami i ułożone wzdłuż krawędzi ścieżki kłody drewniane również sprawiają wrażenie naturalnych warunków leśnych i skutecznie zabezpieczają teren przejścia przed interwencją ludzi [82].

Kolejnym problemem, związanym z estetyką przejść górnych, są informacje o przeznaczeniu obiektu do celów ekologicznych. Mogą to być specjalne znaki drogowe informujące o obiektach habitatowych, stosowane popularnie w Niemczech i Austrii. Ostatnio coraz częściej stosuje się jednak zawieszanie wizerunków zwierząt na ekranach lub ustawianie ich przed ogrodzeniami siatkowymi, za którymi uformowane są wały ziemne. Są to estetyczne podobizny, zawierające potrzebną, bezpośrednią i zrozumiałą informację dla kierowców. Wizerunki zwierząt tworzą często drewniane listwy z impregnowanego drewna, przycięte wg wzorca i przymocowane do drewnianych stojaków.



Ryc. 4.87. Przykład oznakowania przejścia ekologicznego podobiznami zwierząt w kolorze białym



Ryc. 4.88. Przykład oznakowania przejścia ekologicznego podobiznami dzików w kolorze brązowym

Rzadko stosuje się elementy wykonane z tworzyw sztucznych. Wizerunki zwierząt mogą być pomalowane na biało (ryc. 4.87), brązowo (ryc. 4.88) lub w pastelowych kolorach (ryc. 4.89). Podobizny zwierząt przeważnie przedstawiają sarny, jelenie, dziki (ryc. 4.87–4.91). Na przykład na przejściu górnym Westloonse Wissel, nad drogą wojewódzką N261 Waalwijk-Tilburg w Holandii (ryc. 4.91), na całej długości ekranu drewnianego umieszczono różne podobizny zwierząt, a także, oprócz typowych dużych ssaków, motyle i ptaki. Należy zauważyć, że w projekcie przejścia górnego również zadbano o estetykę filarów i przyczółków mostu zielonego, stosując na nich różne systemy oświetleniowe i wiele innych drobnych szczegółów. Są to informacje widoczne tylko dla kierowców; nie generują oddziaływania barierowego dla zwierząt, gdyż są dla nich niewidoczne.



Ryc. 4.89. Przykład oznakowania przejścia ekologicznego kolorowymi podobiznami zwierząt na tle zieleni
Źródło: fot. APRR / Alain Joveniaux-EPA [123].



Ryc. 4.90. Przykład oznakowania przejścia płaskorzeźbami zwierząt; Hwy 69, Ontario, Kanada
Źródło: fot. Marcel Huijser [94].



Ryc. 4.91. Przykład oznakowania przejścia Westloonse Wissel podobiznami zwierząt wyciętymi ze sklejki i umocowanymi na całej długości drewnianego ekranu
Źródło: fot. Street View [164].

4.6. System odwodnienia na przejściach górnych

Bardzo istotnym zagadnieniem budowlanym w znacznym stopniu wpływającym na antropopresję jest pozostawienie na powierzchni przejścia górnego elementów odwodnienia obiektu. Przejścia górne ze względu na swoją specyfikę powinny mieć bardzo dobrze zaprojektowany i wykonany system odwodnienia, zbierający wodę z powierzchni obiektu, ale również odbierający wodę spod warstw gruntu ułożonego na powierzchni obiektu. Poszczególne elementy odwodnienia powierzchniowego powinny być niewidoczne dla zwierząt lub przynajmniej zlokalizowane nie na trasie ich strefy migracji.

Zgodnie z zasadami technicznego projektowania na obiekcie powinno być zapewnione naturalne odprowadzenie wody z powierzchni przejścia. Uwzględniając powyższe, trzeba zachować pochylenie podłużne wzdłuż osi przejścia w granicach 2–3%, a pochylenie poprzeczne powinno być skierowane ku zewnętrznej krawędzi obiektu. Wielkość pochylenia poprzecznego zależy od wysokości naziomu zastosowanego nad konstrukcją obiektu, a także od kształtów uformowanych wałów i zastosowanych nasadzeń. Po uwzględnieniu powyższych czynników projektant przy projektowaniu systemu odwodnienia powierzchniowego powinien przyjąć odpowiednie wartości pochylenia poprzecznego. Oczywiście na powierzchni konstrukcji obiektu należy zastosować warstwy izolacyjne zapewniające przede wszystkim trwałość konstrukcji. System odprowadzania wody spod warstwy ziemi urodzajnej również powinien być zaprojektowany z zapewnieniem trwałości konstrukcji, ale także z zapewnieniem odpowiednich warunków mikroklimatycznych dla warstwy urodzajnej i zastosowanych nasadzeń.

Jeśli na obiekcie wybudowane są ekrany drewniane lub betonowe, to bezpośrednio przy nich najlepiej jest ułożyć ściek z kostki kamiennej, z wypełnieniem spoin zaprawą cementową; nie zaleca się układania ścieku z kostki betonowej (ryc. 4.92–4.95). Nie powinna to być kostka kamienna wysokogatunkowa, wręcz przeciwnie: powinna być to kostka nierówna, pozagatunkowa (ryc. 4.98, 4.105), która może kojarzyć się zwierzętom z naturalnymi kamieniami. Ścieki powinny mieć w przekroju poprzecznym kształt muldy, należy jednak zadbać o wypełnienie ich spoin zaprawą cementową z dodatkami uszczelniającymi. Pochylenie podłużne ścieku powinno być skierowane od środka obiektu w kierunku najść, w obie strony. Przykłady nieodpowiedniego wykonania ścieku z kostki betonowej, z pozostawieniem spoin słabo i nieodpowiednio wypełnionych, przedstawiono na ryc. 4.92–4.94. Bardzo ważne jest zadbanie o szczelność ścieku, podobnie jak w przypadku rozwiązania pokazanego na ryc. 4.98 i 4.102. Ma to później wpływać na funkcjonalność danego przejścia, chyba że buduje się przepuszczalny ściek i z góry zakłada się zastosowanie odpowiedniego systemu odwodnienia, z warstwami izolacyjnymi pod warstwą gruntu.



Ryc. 4.92. Ściek z kostki betonowej odprowadzający wodę opadającą ze strefy migracji



Ryc. 4.93. Zaniedbany ściek z kostki betonowej, z nieodpowiednim wypełnieniem spoin piaskiem



Ryc. 4.94. Ściek typu mulda z kostki betonowej, ułożony przy ekranach drewnianych z wnęką, nad pasem dzielącym



Ryc. 4.95. Ściek skarpowy stopniowany odprowadzający wodę do systemu odwodnienia drogi

Zwraca szczególną uwagę nierównomierne umieszczenie nieregularnych kostek kamiennych (ryc. 4.98). Z budowlanego punktu widzenia jest to prawidłowe rozwiązanie, gdyż na stromych pochyleniach ścieków podłużnych należy zadbać o odpowiednie zmniejszenie prędkości spływu wody, co daje jakieś zabezpieczenie przed wypłukiwaniem podłoża spod kostek (ryc. 4.108). Czasami jeszcze stosuje się w rozwiązaniach ścieku palisady z palików drewnianych (ryc. 4.117–4.119). Jednak wystarczy specjalnie nierówno ułożyć w ścieku kostkę kamienną, z zaplanowanym wyniesieniem pojedynczych kostek, przez co uzyskuje się zmniejszenie prędkości przepływu wody.

Przy ekranach drewnianych, od strony przejścia, zaleca się formować nieregularne wały ziemne na przemian z zagajnikami (ryc. 4.92–4.94) wzdłuż strefy najścia i migracji. Wały ziemne mogą nie być obsiane trawą, mogą być również obsiane trawą [216, 217, 218] lub mogą być na nich posadzone krzewy, o bardzo małych wymaganiach glebowych, odporne na suszę, mróz i zanieczyszczenia drogowe. Pomiędzy wałami a ekranem, czyli poza powierzchnią przejścia dostępną dla zwierząt, można lokalizować ścieki, najlepiej wykonane z kostki kamiennej, lub inne rozwiązania.

Idealnym pod względem technicznym przykładem rozwiązania problemu systemu odwodnienia powierzchniowego jest np. przejście górne wybudowane nad autostradą A11 w Niemczech. Przy krawędzi łukowej żelbetowej konstrukcji mostu ułożono ściek z kostki kamiennej (4.101). Trasa ścieku dostosowana jest do łukowej krawędzi obiektu (ryc. 4.96, 4.97, 4.98). Ściek z kostki kamiennej zbierający wody opadowe powierzchniowe ma obły kształt. Poza przyczółkiem ww. ściek łączy się ze stromym ściekiem odprowadzającym wodę do drogowego systemu odwodnienia zastosowanego wzdłuż autostrady (ryc. 4.99, 4.100).



Ryc. 4.96. Strome skarpy wymagające dodatkowych rozwiązań technicznych w systemie odwodnienia



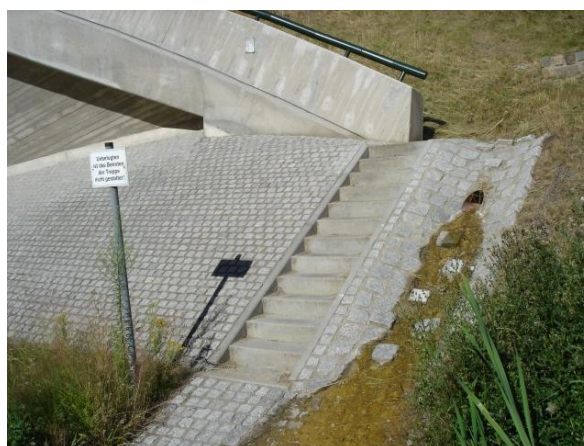
Ryc. 4.97. Łukowa konstrukcja obiektu kierująca wodę opadającą z obiektu, wzdłuż jego krawędzi



Ryc. 4.98. Ściek z kostki kamiennej (typu mulda) przy łukowej krawędzi obiektu



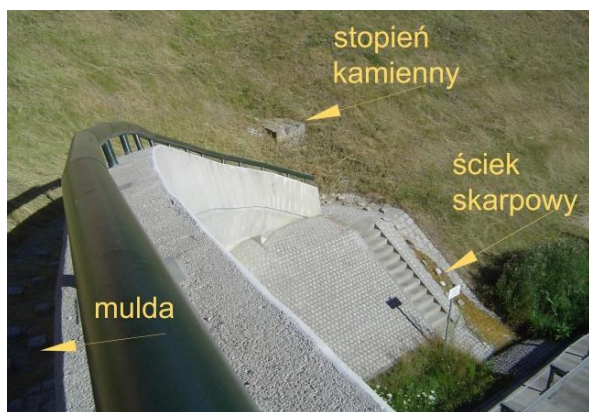
Ryc. 4.99. Wystające pojedyncze kostki kamienne spowalniające wartki nurt splywu wody



Ryc. 4.100. Dodatkowe spowolnienie szybkiego splywu wody dzięki wystającym pojedynczym kostkom kamiennym i ułożeniu warstwy słomy

Na rycinach 4.101, 4.102 i 4.103 widoczne są nierównomiernie rozmieszczone w ścieku kostki kamienne, spowalniające prędkość splywu wody. Dodatkowo zastosowano na dnie ścieku warstwę słomy, która powoduje, że wartko splywająca woda jest stopniowo wyhamowywana na bardzo stromej części ścieku (ryc. 4.100, 4.102). Spoiny pomiędzy kostkami kamiennymi powinny być wypełnione zaprawą cementową, z zastosowanymi dodatkowo materiałami uszczelniającymi. Zaprawa cementowa zapewnia długotrwałe i szczelne połączenie, wobec czego może skutecznie ograniczać liczbę potrzebnych prac remontowych związanych z wyplukiwaniem gruntu spod ścieku.

Strome skarpy również wymagały dodatkowych rozwiązań dotyczących systemu odwodnienia (ryc. 4.99–4.103). W połowie wysokości skarp wybudowano, po każdej stronie autostrady, stopnie spowalniające, dające efekt małej kaskady i stanowiące próg (ryc. 4.101). Wokół stopnia (kaskady) ułożone są ażurowe płyty betonowe, z wypełnieniem otworów małymi otoczkami (ryc. 4.101, 4.103). Wodę, spod powierzchni wokół wybudowanego stopnia kamiennego oraz z odwodnienia wybudowanego pod ściekiem wokół krawędzi obiektu i spod warstwy urodzajnej gleby ułożonej na obiekcie, odprowadzono również do stromego ścieku widocznego na ryc. 4.102.



Ryc. 4.101. Wystające pojedyncze kostki kamienne spowalniające warstki nurt splywu na oplywowej części ścieku i stopnie kamienne na stromej skarpie



Ryc. 4.102. Wystające pojedyncze kostki kamienne spowalniające warstki nurt splywu pod odprowadzeniem systemu odwodnienia w głębokiej muldzie



Ryc. 4.103. Detale muldy, z wystającymi pojedynczymi kostkami kamiennymi (patrz ryc. 4.98), i stopień kamienny

Przedstawiony powyżej, dobrze przemyślany pod względem technicznym i wzorcowo zaprojektowany, system odwodnienia funkcjonuje na przejściu już ponad 20 lat. W trakcie wizji lokalnych, przeprowadzonych na omawianym przejściu górnym, nie stwierdzono żadnych spękań czy zarysowań. Wystające pojedyncze kamienie dość dobrze spowalniają prędkość spływającej wody, nawet w trakcie obfitych deszczy. Obserwacje stanu obiektu i systemu odwodnienia, wykonywane podczas corocznych wizji lokalnych, nie wykazały również żadnych zarysowań konstrukcji nośnej obiektu czy jakichkolwiek przecieków od spodu konstrukcji. Biorąc powyższe pod uwagę, można przedstawiony powyżej sposób odwodnienia zalecać do stosowania na innych przejściach górnych.

Z analizy rozwiązań zastosowanych na przejściach górnych wybudowanych w Niemczech wynika, że przy ekranach drewnianych (obojętnie, czy z wnęką czy bez niej) i niewysokich ekranach betonowych najlepiej na powierzchni strefy migracji i najścia sprawdza się ściek typu mulda z kostki kamiennej lub brukowca.

Do odprowadzania wody na skarpach przyczółków można również z powodzeniem stosować ścieki wykonane z kostki kamiennej typu mulda. W zależności od zastosowanego systemu odwodnienia w betonowej płycie obiektu czasami stosuje się dwa ścieki skarpowe – jeden ściek typu mulda z kostki betonowej, styczny do ściany przyczółku (ryc. 4.104a, b), odprowadzający wodę z powierzchni betonowej płyty konstrukcji i izolacji, a drugi ściek oddalony od przyczółku, również typu mulda, wykonany z brukowca nieobrobionego (ryc. 4.105). Ściek z kostki betonowej ma małą wklęsłość muldy i wzmocniony jest od strony skarpy obrzeżem betonowym pełniącym funkcję opornika (ryc. 4.104b). Ponieważ woda spod warstwy gruntu, spływająca po izolacji, nie płynie zbyt wartko, na powierzchni ścieku z kostki betonowej nie są

potrzebne żadne rozwiązania zmniejszające prędkość jej spływu. Natomiast drugi ściek skarpowy typu mulda, wybudowany z brukowca, odprowadzający wodę z powierzchni przejścia, powinien mieć większą krzywiznę (ryc. 4.105) i nierówno ułożone nieregularne kostki, imitujące kamienie (ryc. 4.106).

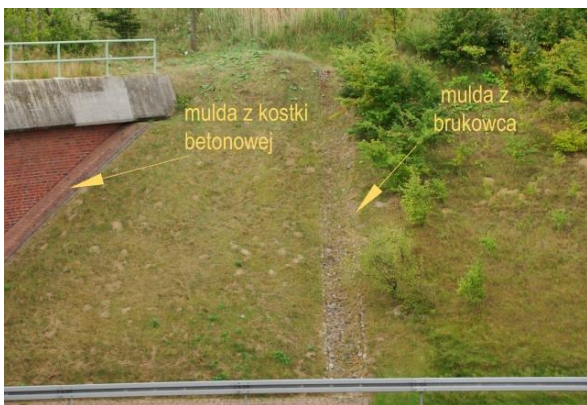
a) przejście Köchelsdorf



b) przejście Barnekow



Ryc. 4.104. System odwodnienia odprowadzający wodę z powierzchni konstrukcji do ścieku stycznego do ścian przyczółku (ściek typu mulda wykonany z kostki betonowej)



Ryc. 4.105. Ściek typu mulda odprowadzający wodę z powierzchni migracji i najścia do drogowego systemu odwodnienia z brukowca nieobrobionego

Ryc. 4.106. Ściek typu mulda wykonany z brukowca nieobrobionego i płytowanego, z wypełnieniem spoin zaprawą cementową, z wystającymi pojedynczo kostkami



Ryc. 4.107. Przykładowy ściek skarpowy typu mulda wykonany z brukowca nieobrobionego

Ryc. 4.108. Ściek skarpowy wykonany z betonowych elementów prefabrykowanych

Ścieki można również wykonać z dużych otoczków (ryc. 4.107). Bardziej zalecanym materiałem jest jednak brukowiec nieobrobiony (ryc. 4.106). Nie powinno się wykonywać w pobliżu przejść habitatowych ścieków z prefabrykowanymi elementami betonowymi (ryc. 4.108). Istotne jest również wypełnienie spoin zaprawą cementową w celu zapewnienia trwałości konstrukcji ścieku; spoiny wypełnione gruntem czy zaprawą piaskową po pewnym czasie zaczynają obrastać mchem i zaroślami (ryc. 4.109). Taki proces szybko prowadzi do niepożądanego nawodnienia okolicy ścieku, braku stabilności podłoża i degradacji ścieku, czyli do koniecznej szybkiej interwencji ekipy remontowej. A w okolicy przejścia habitatowego pożądane jest i zalecane maksymalne ograniczenie liczby przebywających ludzi, gdyż ich obecność płoszy zwierzęta. Uwzględniając powyższe, należy systemy odwodnienia, stosowane na przejściach ekologicznych, pod względem technicznym wyjątkowo dobrze projektować i wykonywać, by nie wymagały częstych prac ekip remontowych.

Na obiektach, z zastosowanym tylko ogrodzeniem siatkowym i uformowanym za nim wałem ziemnym z nasadzeniami, stosuje się różnego rodzaju systemy odwodnieniowe. Może to być np. głęboki prostokątny rów betonowy, przedstawiony na ryc. 4.25. Pod względem technicznym sprawdzonym i funkcjonalnym rozwiązaniem jest także ułożenie ścieku z płyt ażurowych betonowych, wyprofilowanych w formie muldy, o bardzo małej strzałce i dużych promieniach wygięcia. Podobne rozwiązanie zastosowano np. na przejściu Kalkofen, wybudowanym nad drogą dwujezdniową 98 [216, 217, 218] (ryc. 4.110), czy na przejściu Heidenheim, wybudowanym nad autostradą A7 [215] (ryc. 4.111).

a) zbliżenie spoin zarośniętych mchem



b) widok ogólny



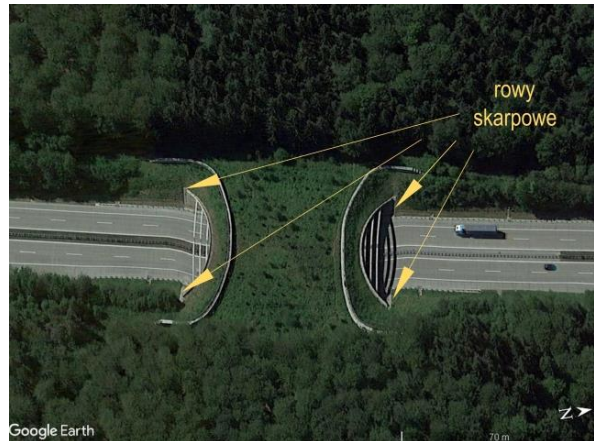
Ryc. 4.109. Spoiny wypełnione gruntem i zarośnięte mchem oraz zaroślami

Należy jednak pamiętać, że pod ażurowymi płytami betonowymi, wypełnionymi grysem lub otoczkami, stanowiącymi ściek typu mulda, powinno się stosować dobrze dobrany system ochrony izolacyjnej płyty betonowej konstrukcji mostu. Ściek skarpowy wówczas powinien być wykonany podobnie jak rozwiązanie opisane powyżej i przedstawione na ryc. 4.99–4.102. Z powierzchni przejścia wodę poza obiekt odprowadzono rowami skarpowymi, wykonanymi z kostki kamiennej – zob. np. mosty Kalkofen i Heidenheim. Ponadto zwraca szczególną uwagę sposób wzmocnienia kostką kamienną całej skarpy przyczółku pod płytą obiektu (ryc. 4.110, 4.111).

Przy bardzo wąskich przejściach wybudowanych w Szwecji stosuje się również wzmocnienie skarpy przyczółku pod obiektem nieregularną kostką kamienną lub brukowcem nieobrobionym, a ściekiem skarpowym nadaje się kształt stożka, z wklęsnięciem typu mulda (ryc. 4.112). Poszerzający się ściek, z wklęsnięciem charakterystycznym dla muldy i nierówno ułożoną kostką kamienną, sprawdza się szczególnie w rejonach z długim okresem zimowym.



Ryc. 4.110. Przejście górne Kalkofen nad drogą 98 w Niemczech, koło Kalkofen
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.111. Most zielony Heidenheim nad autostradą A7 w Niemczech, koło wsi Ebnat
 Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 4.112. Przykład wzmocnienia skarpy pod obiektem i zastosowania trójkątnego ścieku skarpowego typu mulda, przy wąskich przejściach w regionach z długim okresem zimowym
 Źródło: fot. Street View [164].



Ryc. 4.113. Przykład wzmocnienia skarpy pod obiektem i zastosowania tradycyjnego systemu odwodnienia, przy wąskich przejściach w regionach z krótką zimą lub z bezśnieżnym okresem zimowym
 Źródło: fot. Street View [164].

Natomiast w Holandii przy wąskich przejściach nie stosuje się specjalnych ścieków skarpowych – wodę z niewielkiej powierzchni obiektu odprowadza się tradycyjnym systemem odwodnienia (ryc. 4.113), a skarpy przyczółku pod obiektem, w zależności od warunków, przy ich gorszej jakości wmacnia się stopniowanymi gabionami (ryc. 3.40, 4.114, 4.115). Wówczas jednak na krawędziach obiektu, w strefie najścia i migracji, powinno się zastosować gęste nasadzenia zieleni celem osłonięcia przed wzrokiem zwierząt zastosowanych wzmocnień z gabionów oraz, co jest bardzo ważne na obiektach habitatowych, zmniejszenia efektu pogłosu hałasu drogowego odbitego od stopni gabionów.

W zależności od potrzeb na powierzchni strefy migracji lub najścia na obiekt również powinno się stosować wszechstronnie przemyślany system odwodnienia. Czasami do spowolnienia splywu wód opadowych z powierzchni strefy najścia lub migracji wykorzystuje się plastikowe maty ażurowe lub specjalne siatkowe taśmy ażurowe (ryc. 4.116). W obu przypadkach otwory w matach i taśmach wypełnia się żwirem, co zabezpiecza przed wypłukaniem gruntu i znacznie spowalnia splyw wody podczas ulewy.



Ryc. 4.114. Przykładowe wzmocnienie skarp gabionami



Ryc. 4.115. Przykład stopni wykonanych z gabionów na skarpach w otoczeniu przejścia górnego



Ryc. 4.116. Ażurowa taśma siatkowa stabilizująca podłoże i spowalniająca sływ wody na obiekt



Ryc. 4.117. Przykładowe zabezpieczenie brzegu cieków faszyną

Wszystkie naturalne ciek lub oczka wodne, znajdujące się w otoczeniu przejścia habitatowego, powinny być dla bezpieczeństwa migrujących zwierząt zabezpieczone naturalnymi konstrukcjami, czyli popularną faszyną (ryc. 4.117). Jeśli w pobliżu przejścia znajdują się ciek lub rowy, to często stosuje się w nich regulację nurtu

wodnego poprzez różnego rodzaju palisady (ryc. 4.118, 4.119). Mogą one być budowane w formie stopni i wzmocniane płytami betonowymi – zob. ryc. 4.118, choć w danym przypadku bardziej zalecaną formą byłoby obrukowanie zarówno skarp, jak i dna ciek lub rowu. Na terenie z pofałdowaniami możliwe jest kilkukrotne stosowanie stopni w celu spowolnienia spływu wody (ryc. 4.119). W przypadku jakiegokolwiek ciek lub oczka wodnego powinno się zawsze stosować materiały izolacyjne, by woda nie rozmyła podłoża i nie zdeformowała powierzchni w pobliżu strefy najścia i migracji. Wszelkie uszkodzenia systemu odwodnienia lub oczka wodnego powodują bowiem konieczność wykonania prac remontowych i są przyczyną obecności ludzi na powierzchni przejścia habitatowego. A to są okoliczności niepożądane na przejściach przeznaczonych dla zwierząt dziko żyjących.



Ryc. 4.118. Przykład palisady wzmocnionej obustronnie narzutem z otoczków



Ryc. 4.119. Przykład palisady wzmocnionej narzutem z otoczków i faszyną

Główną wadę większości zrealizowanych w kraju przejść habitatowych stanowi podejście projektanta troszczącego się tylko o zapewnienie odpowiednich budowlanych warunków projektowych, dotyczących jedynie zgodności z obowiązującymi warunkami technicznymi. A przejścia dla dzikich zwierząt nie są typowymi obiektami drogowymi, muszą spełniać wiele innych warunków środowiskowych, specyficznych dla inżynierii ekologicznej, aby w konsekwencji okazać się bardziej przyjazne zwierzętom. Biorąc powyższe pod uwagę, zgodnie z wytycznymi inżynierii ekologicznej [42, 52, 121, 234, 239], na powierzchni przejścia górnego na trasie migracji zwierząt nie należy stosować żadnych urządzeń odwodnieniowych związanych z drogą. Rowy drogowe muszą być wykonane w pobliżu przejścia, w systemie podziemnym.



Ryc. 4.120. Niedopuszczalne pozostawienie na terenie przejścia elementów systemu odwodnienia



Ryc. 4.121. Niedopuszczalne na terenie przejścia miejsca wybrukowane (posadzone młode, słabo rozwinięte, krzewy nie zasłaniają zastosowanego elementu odwodnienia)
Źródło: fot. Radosław Maron [134].

Na powierzchni strefy migracji i najścia nie powinno być żadnych umacnianych skarp lub brukowanych powierzchni (ryc. 4.120–4.122), co niestety, bardzo często się zdarza w rozwiązaniach krajowych. Jeśli już zachodzi potrzeba ich zastosowania, to powinny one być zawsze zasłonięte przed wzrokiem zwierząt, czyli powinny znajdować się za ekranem od strony drogi i ogrodzeniem naprowadzającym, by maksymalnie zmniejszyć oddziaływanie barierowe na dzikie zwierzęta. Jeśli zastosowano na danym przejściu ogrodzenia siatkowe, to od strony przejścia powinno ono być zasłonięte przez odpowiednie nasadzenia lub bluszcz. Nasadzenia powinny być kilkuletnie, z dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym i górną częścią, by w momencie oddania obiektu do użytku ogrodzenie siatkowe było zasłonięte. Przykłady złej lokalizacji elementów odwodnienia i zastosowanych złych nasadzeń z młodych krzewów wierzby iwy (*Salix caprea*), bez rozwiniętej korony, przedstawiono na ryc. 4.120–4.122.



Ryc. 4.122. Niedopuszczalne na terenie przejścia miejsca wybrukowane, generujące istotne oddziaływanie barierowe
Źródło: fot. Radosław Maron [134].

Na przejściach zespolonych powinien być stosowany system odwodnienia drogi lokalnej podziemny, a droga powinna mieć nawierzchnię gruntową [42, 52, 121, 234, 239]. Droga lokalna na obiekcie zespolonym powinna być odgradzona od strefy migracji wałami ziemnymi, zagajnikami z drzew i krzewów lub wałami uformowanymi z karpin i pni ściętych drzew; nie powinna mieć żadnych barier ochronnych. Przykłady dobrze zastosowanych i wykonanych systemów odwodnienia oraz odgradzenia drogi lokalnej od terenu migracji zwierząt na obiektach zespolonych we Francji przedstawiono na ryc. 2.32–2.35, a na obiektach w Holandii – na ryc. 2.65–2.69.



Ryc. 4.123. Miejsce lokalizacji płotków zabezpieczających krawędź obiektu przed tworzeniem się sopli



Ryc. 4.124. Widok detali płotków zastosowanych na krawędzi obiektu

Ostatnim zagadnieniem budowlanym, bardzo ważnym w polskich warunkach klimatycznych, jest prawidłowo przemyślany i wykonany system zabezpieczenia konstrukcji w okresie zimy przed soplami lodu, mogącymi się tworzyć na krawędzi obiektu z wody spływającej spod śniegu. Przykład dobrego pod względem technicznym rozwiązania, zastosowanego na obiektach wybudowanych w Polsce, nad autostradą A4, przedstawiono na ryc. 4.123 i 4.124.

5. Dobór roślinności w zależności od głównych gatunków zwierząt korzystających z przejścia górnego

5.1. Ogólne zasady kształtowania zieleni w rejonie przejść górnych

W przypadku projektu zagospodarowania terenu przejść górnych i doboru gatunków nasadzeń należy uwzględnić zrównoważone zasady projektowania przejścia i jego zagospodarowania, a w szczególności **dbałości o środowisko, zasady 3r i szacunku dla użytkownika i do terenu**.

Dbalność o środowisko oraz szacunek dla użytkownika i do terenu wymagają, by przy projektowaniu zagospodarowania stosować gatunki zieleni odnotowane w najbliższej okolicy w celu uzyskania maksymalnej integracji z krajobrazem. Zgodnie z powyższymi zasadami zrównoważonego projektowania zagospodarowania przejście górne powinno integrować przecięte drogą siedliska, a zastosowany sposób zagospodarowania jego przestrzeni ma przywabić zwierzęta i zachęcić je do migracji. Uwzględniając powyższe, powinno się w projekcie zagospodarowania przejścia zielenią uwzględniać wybrane gatunki roślin odnotowane w najbliższym jego otoczeniu, na podstawie obserwacji poczynionych w trakcie wizji lokalnej, i dostosowane do gatunku zwierząt, których bytowanie w pociętych siedliskach odnotowano na podstawie obserwacji i monitoringu wykonywanego przez służby leśne i koła łowieckie.

Uwzględniając **zasady 3r**, w efekcie końcowym zagospodarowania terenu przejścia należy zadbać o oszczędność terenu i nasadzeń, czyli nie powinno się stosować w otoczeniu przejścia nadmiernej wycinki drzew bardzo częstej w krajowych realizacjach (zob. ryc. 3.4, 3.20, 3.35, 3.47, 3.69). Uplynie bowiem wiele lat, zanim urosną nowe nasadzenia w miejscu uprzedniego wykarczowanego lasu (ryc. 5.1), zaaklimatyzują się i zostaną zaakceptowane przez zwierzęta, dla których przecież dane przejście zostało zaplanowane.

Biorąc powyższe pod uwagę, w trakcie procesu projektowego przejść habitatowych zlokalizowanych na terenie leśnym należy planować wykarczowanie lasu z wyjątkową dbałością o minimalizację tej powierzchni. Na ryc. 5.2–5.5 przedstawiono przykłady wykarczowania drzew na bardzo dużej powierzchni na terenie leśnym w realizacjach krajowych, po prawie dziesięcioletnim użytkowaniu.

Zagadnieniu kształtowania zieleni w rejonie przejść górnych poświęcono wiele badań i opracowań, prowadzonych szczególnie za granicą. Na przykład w opracowaniu [237] opisane są szczegółowe badania doboru roślin wabiących, w zależności od gatunku zwierząt. A w opracowaniu [158] zawarte są wskazówki dotyczące stosowania strefowania roślinności (wysokie, średnie i małe) w przypadku podstawowych gatunków zwierząt, z podziałem na ssaki duże, średnie, małe, płazy i owady. Również w polskim podstawowym opracowaniu [104] i poradniku [121] zawarte są zalecenia dotyczące doboru zieleni oraz sposobów uzyskania harmonizacji przejścia z otoczeniem. Choć spisy zieleni w ww. publikacjach są dość obszerne, to jednak wiele, spośród zalecanych w nich, gatunków krzewów nie jest odpornych na zanieczyszczenia drogowe, suszę lub mróz, więc posadzone w niekorzystnych warunkach giną wcześniej niż to przewidywano. W artykule [79] poświęcono również sporo uwagi problemowi aranżowania zieleni na przejściach górnych w aspekcie kompozycyjnym, związanym z percepcją krajobrazu przez użytkowników drogi.

W Polsce, oprócz opracowań dotyczących inżynierii ekologicznej, istnieją również wytyczne normatywne dotyczące stosowania zieleni przydrożnej [111, 180, 243]. Zarządzenie nr 10 GDDKiA [243] reguluje wiele zasad zagospodarowania terenu w otoczeniu przejścia górnego i bezpośrednio na nim, zalecając pewną symbiozę zagospodarowania poszczególnych stref i harmonizację całości krajobrazu (ryc. 5.6).

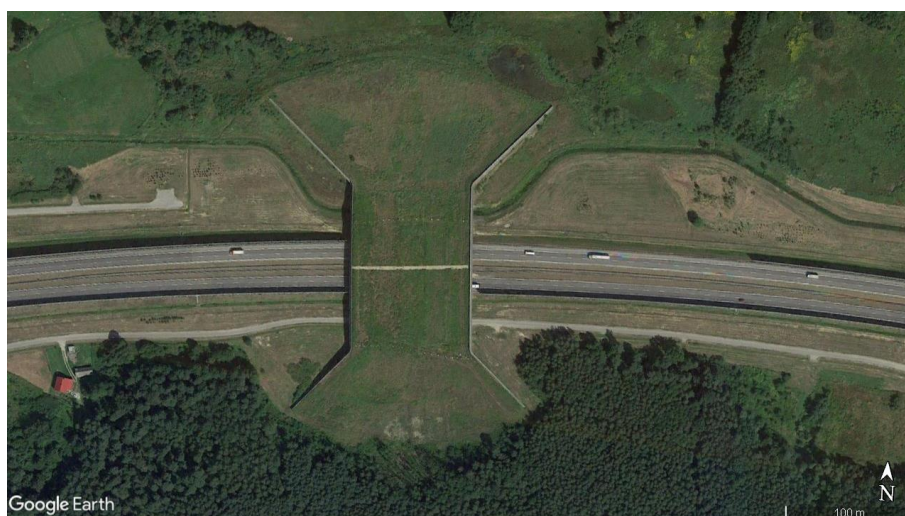
a) stan w 2013 r.



b) stan w 2015 r.



c) stan w 2018 r.

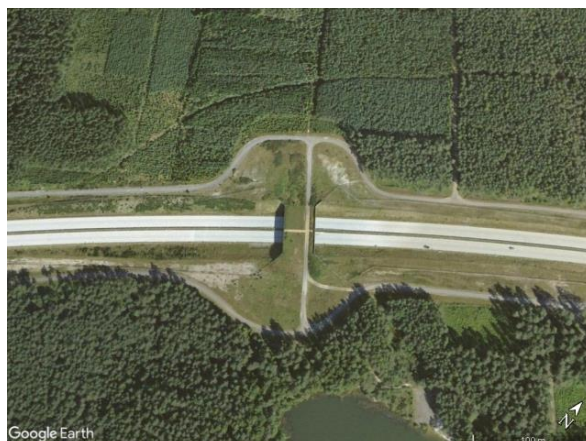


Ryc. 5.1. Stan samoistnego rozwoju roślinności na najszerszym w Polsce przejściu górnym – faktyczna szerokość przejścia – 95 m (budowa w 2012 r. nad autostradą A4, w okolicy wsi Podboreczek)

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.2. Powierzchnia wykarczowanego lasu przy przejściu zespolonym i nieprawidłowe lokalizacje dróg w części południowej (autostrada A2 w Polsce, koło wsi Teresin)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



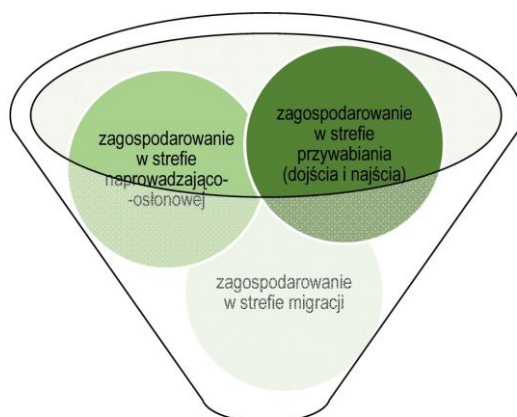
Ryc. 5.3. Powierzchnia wykarczowanego lasu przy przejściu zespolonym i prawidłowa lokalizacja drogi lokalnej (autostrada A4 w Polsce, koło Nowej Wsi)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.4. Powierzchnia wykarczowanego lasu przy przejściu zespolonym i nieprawidłowy przebieg drogi lokalnej (autostrada A4 w Polsce, koło wsi Bratkowice)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.5. Powierzchnia wykarczowanego lasu przy przejściu górnym (droga ekspresowa S3 w Polsce, koło wsi Popowo)
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.6. Symbioza zagospodarowania poszczególnych stref przy prawidłowo dobranej lokalizacji przejścia może zapewnić jego dobrą funkcjonalność

W zagranicznych i krajowych wytycznych [28, 29, 42, 52, 77, 103, 121, 142, 193, 222, 223, 234, 239] przy projektowaniu zagospodarowania terenu przejścia i jego otoczenia wyróżnia się trzy strefy: **dojścia**, **najścia** i **migracji**. W polskich wytycznych stosowania zieleni przydrożnej [243] wprowadzono dodatkowo **strefę naprowadzająco-osłonową**, natomiast strefy dojścia i najścia połączone w **strefę przywabiania**. Podział poszczególnych stref przedstawiono na ryc. 5.7.

a) autostrada A4 – Polska, koło wsi Podboreczek



b) autostrada A4 – Polska, koło wsi Kozłów



c) autostrada A13 – Niemcy, koło wsi Teuplitz



d) autostrada A4 – Niemcy, koło wsi Burkau



Ryc. 5.7. Przykłady podziału powierzchni przejścia i jego otoczenia na poszczególne strefy zagospodarowania terenu
Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

Najważniejszym zaleceniem zawartym w Zarządzeniu nr 10 GDDKiA jest strefowanie zieleni [79, 243].

- **Strefa migracji**, która „[...] powinna umożliwić swobodną, niezaburzoną migrację zwierząt na drugą stronę drogi [...]” [243, s. 14]. **Stosowanie odpowiedniej zieleni na powierzchni obiektu powinno zapewnić utrzymanie tzw. otwartości przejścia** – ryc. 5.8. Jednak nie zawsze oznacza to, że powierzchnia strefy migracji ma być niczym nieobsiana. Dwa kontrastujące ze sobą przykłady zagospodarowania strefy migracji przedstawiono na ryc. 5.9 i 5.10.
- **Strefa przywabiania** (tj. dojścia i najścia na obiekt), która „[...] ma za zadanie zachęcić zwierzęta do korzystania z danego przejścia [...]” [243, s. 14]. **Powinna być stosowana odpowiednia zielen na krawędziach parabolicznego faktycznego najścia na obiekt oraz powinny być dobrane specjalne gatunki roślin w zagajnikach naprowadzających na powierzchni strefy najścia** – ryc. 5.11 i 5.12.



Ryc. 5.8. Strefa migracji na przejściu Köchelsdorf w Niemczech (po bokach widoczne wały ziemne obsadzone krzewami, w głębi widoczne nasadzenia krzewów przywabiających po drugiej stronie przejścia, w strefie najścia)



Ryc. 5.9. Przykład zagospodarowania powierzchni strefy migracji obsianej trawą, przy zastosowaniu na krawężniach obiektu ekranów
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.10. Przykład przejścia górnego z bardzo bogatym zagospodarowaniem terenu w strefie migracji i zastosowaniem wałów ziemnych z bardzo gęstymi nasadzeniami
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



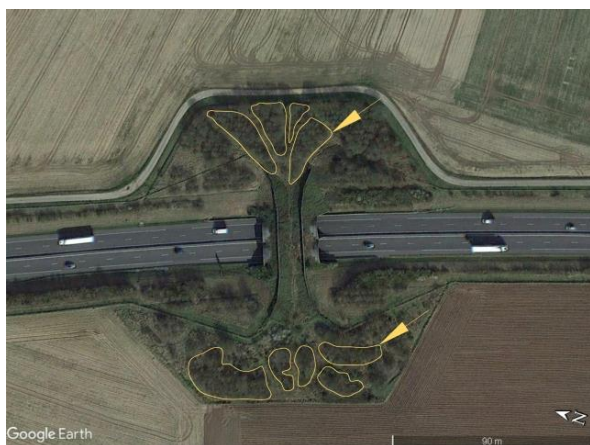
Ryc. 5.11. Nasadzenia w strefie przywabiającej do przejścia Köchelsdorf w Niemczech (gęste nasadzenia widoczne w głębi zdjęcia)



Ryc. 5.12. Koniec strefy najścia (widoczne głazy) i nasadzenia trawy oraz ziół w strefie migracji (w głębi strefa przywabiająca, po drugiej stronie przejścia)

W zależności od lokalizacji przejścia, na terenie leśnym lub rolniczym, stosuje się różne rozwiązania. Na ryc. 5.13 i 5.14 przedstawiono zagospodarowanie otoczenia przejść, o różnych kształtach strefy buforowej, znajdujących się w terenie rolniczym. W danym przypadku zastosowano nasadzenia rodzime odnotowane w najbliższej okolicy, z uwzględnieniem ich różnorodności, w celu zachęcenia zwierzyny do konsumowania owoców, liści i gałęzi z nasadzonych krzewów. Zastosowania wabiących krzewów chroni blisko znajdujące się pola uprawne przed żerowaniem na nich dzikiej zwierzyny. W obu przykładach widać wyraźnie nasadzenia na skarpach wykopu i przy siatkowym ogrodzeniu naprowadzającym, a także w strefie dojścia. Nasadzenia na skarpach i przy przyczółkach pełnią głównie funkcję przeciwołśnieniową, równocześnie chroniąc zwierzęta przed hałasem drogowym i zanieczyszczeniami. A nasadzenia w strefie dojścia do przejścia pełnią głównie funkcję wabiącą. Zwierzęta migrując po polach uprawnych, widzą lokalne niewielkie siedliska, które stanowią dla nich miejsca żerowania i pełnią funkcję wabiącą zwierzęta w kierunku przejścia.

Charakterystyczną cechą nasadzeń stosowanych w strefie bezpośredniego najścia na przejście jest wykonanie ich w kształcie niewielkich i nieregularnych zagajników naprowadzających, z wydzieleniem wąskich ścieżek migracji (ryc. 5.13, 5.14). Na ww. rycinach pomarańczowymi liniami oznaczono granice poszczególnych niewielkich zagajników naprowadzających.



Ryc. 5.13. Przykład różnorodnego zagospodarowania powierzchni rozległych stref przywabiania i pozostawienia strefy migracji obsianej tylko trawą i ziołami
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.14. Przykład bogatego zagospodarowania stref przywabiania i szczelnego ich połączenia z nasadzeniami na skarpach wykopu, przy pozostawieniu strefy migracji obsianej tylko trawą i ziołami
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.15. Zagajniki naprowadzające w lewej części najścia na obiekt (w głębi widoczny kompleks leśny)



Ryc. 5.16. Zagajniki naprowadzające w środkowej części najścia na obiekt (w głębi widoczny kompleks leśny)

Pomiędzy zagajnikami naprowadzającymi zawsze pozostawia się ścieżki, o szerokości 1–1,5 m, wykorzystywane przez zwierzęta do migracji. Zagajniki naprowadzające w początkowym okresie użytkowania przejścia powinny być ogrodzone siatką przymocowaną do drewnianych palików (ryc. 5.15–5.17), co zabezpiecza młode nasadzenia przed zjedzeniem i dewastacją. W początkowym okresie nasadzenia powinny być pielęgnowane i poddawane obserwacjom służb eksploatacyjnych. Prawidłowo zagospodarowane przykłady zagajników i ścieżek migracyjnych pomiędzy nimi przedstawiono na ryc. 5.15–5.18.



Ryc. 5.17. Zagajniki naprowadzające w prawej części najścia na obiekt (w głębi widoczny kompleks leśny)



Ryc. 5.18. Pojedyncze nasadzenia w strefie najścia na obiekt po kilku latach użytkowania (na pierwszym planie widoczne nasadzenia wielorzędowe zastosowane przed ogrodzeniem naprowadzającym, od strony przejścia)

Różne wielkości poszczególnych stref, ich kształt i sposób zagospodarowania, zastosowanego w strefie dojścia i najścia na obiekt, przedstawiono na ryc. 5.19 i 5.20. Na ryc. 5.19 przedstawiono przykład przejścia na terenie leśnym, z wyraźnie widocznymi oddzielnymi nasadzeniami pojedynczych krzewów i drzew. Charakterystyczną cechą tego rozwiązania są bardzo krótkie strefy najścia, wspomóżone wałami ziemnymi z nasadzeniami ukształtowanymi faliście.

Natomiast na ryc. 5.20 przedstawiono przejście górne na terenie rolniczo-leśnym z bardzo rozległą strefą najścia i uformowanymi oczkami wodnymi. Po obu stronach drogi strefy dojścia są otwarte, przy czym jedyną funkcję przywabiania pełnią nasadzenia na szerokich wałach ziemnych uformowanych pod kątem 45° do osi podłużnej przejścia.



Ryc. 5.19. Przykład zagospodarowania powierzchni strefy przywabiania na przejściu zlokalizowanym na terenie leśnym
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 5.20. Przykład przejścia górnego z bogatym zagospodarowaniem w strefie migracji (zagajniki i oczka wodne) oraz z różnie ukształtowaną i zagospodarowaną strefą naprowadzająco-osłonową po obu stronach przejścia
Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

- **Strefa naprowadzająco-osłonowa**, której celem jest „[...] naprowadzenie zwierząt za pomocą zastosowanych nasadzeń na przejście, a także tworzenie bariery przeciwośluniowej z jednoczesną osłoną przed wzrokiem zwierząt sztucznych elementów drogi i konstrukcji [...]” [243, s. 14]. Należy **stosować roślinność rodzimą rosnącą w strefie buforowej, tj. przylegającej do obiektu w najbliższej okolicy, a na skarpach wykopu i skarpach przyczółków stosować roślinność przydrożną odgradzającą drogę od strefy dojścia do obiektu** – ryc. 5.21 i 5.24.



Ryc. 5.21. Strefa naprowadzająco-osłonowa; w głębi widoczny kompleks leśny (zdjęcie zrobione z wału)



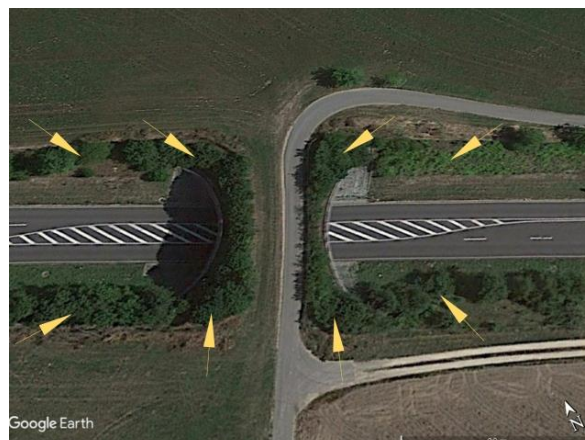
Ryc. 5.22. Strefa naprowadzająco-osłonowa na krawędzi obiektu (nad przyczółkiem)

Termin „strefa naprowadzająco-osłonowa” jest wprowadzony tylko w polskich wytycznych [243] dotyczących zakładania i utrzymywania zieleni przydrożnej. Strefa naprowadzająco-osłonowa obejmuje swym zakresem fragmenty wszystkich ww. stref. Według założeń sformułowanych w wytycznych [243] strefa naprowadzająco-osłonowa uformowana jest równolegle wzdłuż drogi (obejmując skarpy wykopu i przyczółków), następnie wzdłuż odgiętych ekranów lub wałów ziemnych i dalej wzdłuż krawędzi obiektu nad jezdnią. Ma ona osobliwe znaczenie, szczególnie przy wąskich przejściach górnych, i odpowiada zaleceniom zawartym w pierwszych podstawowych wytycznych z inżynierii ekologicznej [42]. Od kilkunastu lat na podstawie wielu doświadczeń, prowadzonych głównie przez ekologów holenderskich [234], w tej strefie naprowadzająco-osłonowej formuje się jedynie wały ziemne obsiane trawą i pozostawia się je do

samoistnej ekspansji roślinności. Przykłady takich rozwiązań po kilkunastu latach samoistnej ekspansji roślinności przedstawiono na ryc. 5.23 (na terenie leśnym) i ryc. 5.24 (na terenie rolniczym).



Ryc. 5.23. Przykład zagospodarowania powierzchni strefy naprowadzająco-osłonowej na terenie leśnym
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



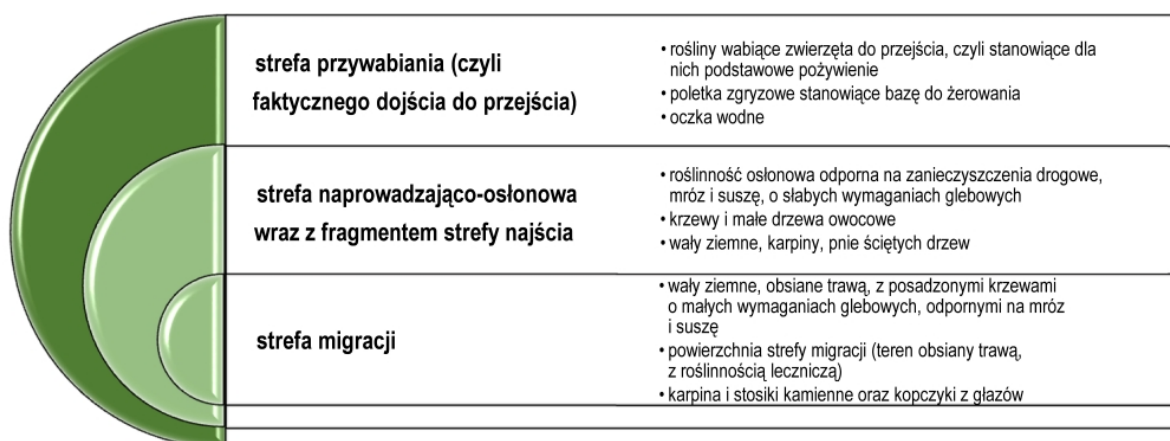
Ryc. 5.24. Przykład zagospodarowania powierzchni strefy naprowadzająco-osłonowej na terenie rolniczym
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Przykłady przedstawione powyżej przedstawiają również m.in. zagospodarowanie w okolicy przyczółków obiektów ekologicznych. Bogate i różnorodne zagospodarowanie w tej konkretnej części przejścia zapewnia również duże pochłanianie pogłosu od hałasu drogowego dochodzącego spod płyty konstrukcji. Zastosowane różnorodne, pod względem gatunków i rozmiarów, nasadzenia są w stanie skutecznie przerwać propagację fali nakładania się hałasu i pogłosu, co istotnie wpływa na zmniejszenie hałasu drogowego i w konsekwencji przyczynia się do lepszej funkcjonalności danego przejścia. Ponadto zastosowane krzewy chronią teren przejścia przed spalinami i zanieczyszczeniami dochodzącymi z drogi. Jest to element często pomijany w wytycznych krajowych, ale bardzo istotny w inżynierii ekologicznej, ponieważ jest jednym z ważniejszych uwarunkowań decydujących o skuteczności danego przejścia. Przykłady braku zagospodarowania skarp przyczółków na zrealizowanych przejściach krajowych przedstawiono na ryc. 3.20, 3.34, 3.35, 3.67–3.70, 3.88. Wzorcowe zastosowanie nasadzeń na skarpach przyczółków przedstawiono na ryc. 3.46 (na przejściu Zwaluwenberg w Holandii) i na ryc. 4.80–4.82 (na przejściu Slabroek w Holandii).

Ponadto w ww. zarządzeniu [243] zawarto spis podstawowych cech poszczególnych gatunków traw, drzew, krzewów i pnączy. Niestety, te wszystkie dane nie są przydatne dla ekologów i architektów krajobrazu, którzy raczej kierują się podstawowymi zasadami kompozycji krajobrazu. W przytoczonych opracowaniach brakuje jednak wskazań, jakie konkretne gatunki zieleni należy stosować przy przeważającym udziale danego gatunku zwierząt na danym przejściu.

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w zagranicznych wytycznych [28, 29, 42, 52, 77, 193, 234, 239] i na podstawie własnych obserwacji, poczynionych na wielu wybudowanych przejściach z potwierdzoną dobrą ich funkcjonalnością, autorka zaleca, oprócz nasadzeń zieleni, stosowanie wałów ziemnych, głazów, karpin, pni ściętych drzew, stosików kamiennych lub nawet kopców kamiennych w celu zapewnienia dobrej funkcjonalności wybudowanych kosztownych obiektów (ryc. 5.25).

W opracowaniu [159] jest zalecenie, że można na wiosnę każdego roku, lub co drugi rok, ścinać aż do szyjki korzeniowej nasadzenia na poletkach zgrzyzowych w lesie, co może spowodować rozkrzewienie (odbijanie) licznych odrośli. Tej czynności (tj. ścinania nasadzeń aż do korzeni) nie odnotowano w ciągu licznych wizyt terenowych na przejściach górnych w Niemczech w ciągu kilkunastu lat corocznych obserwacji.



Ryc. 5.25. Schemat podstawowych czynników zagospodarowania przejść górnych determinujących ich dobrą funkcjonalność

Bardzo ważnym zaleceniem, wymienionym prawie we wszystkich opracowaniach ekologicznych [42, 52, 121, 234, 239], jest zabezpieczenie nasadzeń (ryc. 5.15–5.17), w pierwszych latach po oddaniu przejścia do użytku, przed zgryzaniem przez zwierzęta. Szczególnie ważne zalecenie dotyczy sposobu tego zabezpieczenia, by ogrodzenia nie zasłaniały zwierzętom światła przejścia (ryc. 5.8). Po kilku latach od momentu oddania przejścia do użytku zabezpieczające ogrodzenia można zdemontować, a nasadzenia udostępnić zwierzynie (ryc. 5.18). Na przykład w Niemczech na przejściach górnych, wybudowanych nad autostradą A20, ogrodzenia zagajników zlikwidowano dopiero po ośmiu latach od momentu oddania ich do eksploatacji. W następnym roku podczas wizji lokalnych, przeprowadzonych przez autorkę, stwierdzono na większości nasadzeń, do wysokości ok. 0,70 m, ślady zgryzania.

Jednak stosowanie ogrodzeń siatkowych to nie wszystko. W przypadku pojedynczych nasadzeń małych drzew powinno się stosować dodatkowo siatki ochronne na pniach tych drzew i paliki wspierające (ryc. 5.26–5.27).



Ryc. 5.26. Przykład niewłaściwego zaplanowania szeregowych nasadzeń w poprzek strefy najścia i dobrego zastosowania palików usztywniających pnie młodych drzew



Ryc. 5.27. Przykład zastosowania na pniu młodego drzewa siatek ochronnych zabezpieczających przed zgryzaniem

Często w kraju stosuje się nasadzenia z chorych sadzonek, bez wykształconej korony, lub sadzenie połamanych lub uschniętych sadzonek. Wprawdzie gwarancje firmy dostawczej obejmują wymianę

sadzonek na zdrowe, lecz ta zła praktyka powoduje niepożądaną obecność ekipy roboczej na obiektach przeznaczonych dla dzikich zwierząt. Przykłady złych praktyk na już zrealizowanych przejściach, niezgodnych z podstawowymi krajowymi wytycznymi [121, 243], przedstawiono na ryc. 5.28–5.35.



Ryc. 5.28. Przykład sadzenia uschniętych sadzonek



Ryc. 5.29. Przykład sadzenia połamanych sadzonek ze słabo ukształtowaną koroną



Ryc. 5.30. Przykład nieprawidłowych nasadzeń, które nie zasłaniają ogrodzeń siatkowych, oraz nieprawidłowych nasadzeń z suchych sadzonek lub sadzonek bez rozwiniętej korony



Ryc. 5.31. Przykład nieprawidłowego sadzenia: trzrzędowe rzadkie nasadzenia nieosłaniające ogrodzenia i drogi, w rzędach nietworzących zagajników i niezabezpieczonych przed żerowaniem zwierząt



Ryc. 5.32. Przykład nieprawidłowych nasadzeń niezasłaniających ogrodzeń i ograniczających otwartość przejścia; strefa najścia ukształtowana niezgodnie z wytycznymi



Ryc. 5.33. Przykład sadzenia na przejściu, na terenie rolniczym, połamanych sadzonek pozbawionych liści, bez ukształtowanej korony

W zagranicznych i krajowych poradnikach oraz wytycznych dotyczących inżynierii ekologicznej [28, 29, 42, 52, 77, 121, 193, 234, 239] zaleca się, by „sztuczne elementy budowlane” (tj. ekrany betonowe, ogrodzenia siatkowe i urządzenia systemu odwodnienia) były zasłonięte przed wzrokiem zwierząt. W związku z tym wały ziemne i nasadzenia mają pełnić także funkcję osłonową, zasłaniając ww. elementy. Niestety, pozostawienie na terenie przejścia widocznych ogrodzeń siatkowych, bram wjazdowych awaryjnych dla służb eksploatacyjnych, elementów betonowych zastosowanego systemu odwodnienia, często spotykane na polskich przejściach habitatowych, jest nieprawidłowe i niepożądane (ryc. 5.30–5.35).



Ryc. 5.34. Przykład nieprawidłowego zagospodarowania strefy najścia: widoczne ogrodzenia siatkowe i bramy wjazdowe, źle zlokalizowana brama wjazdowa – wprost na przejście dla zwierząt, brak nasadzeń zasłaniających ogrodzenia siatkowe, nasadzenia krzewów nie w zagajnikach, tylko w luźnych rzędach, na szerokości ponad 10 m, nieprawidłowa krawędź strefy naprowadzająco-osłonowej pod kątem prostym do osi drogi, zamiast ukośnego nakierowania
Źródło: fot. Radosław Maron [134].



Ryc. 5.35. Przykład nieprawidłowego zagospodarowania strefy najścia na terenie leśnym: mały zagajnik bez ogrodzeń siatkowych, zlokalizowany w osi strefy najścia, stanowi duży kontrast z nasadzeniami w lesie; brak symbiozy nasadzeń z okolicznym siedliskiem; gałęzy rozłożone są za rzadko i nie stanowią przeszkody dla samochodów

Na terenach, gdzie brakuje, szczególnie w strefie najścia, miejsca do zakładania zagajników (np. przy starych rozwiązaniach i wąskich przejściach górnych), można układać tzw. bazę do żerowania z gałęzi drzew liściastych. „[...] W każdym niemal lesie znajdują się gniazda osik, które bez większej straty gospodarki leśnej można przeznaczyć dla zwierzyny płowej, szczególnie saren [...]” [159, s. 114]. W tym celu np. można odrywać gałęzie lub ścinać całe drzewka, rosnące na dobrze nasłonecznionych terenach południowych, po czym ułożyć je w luźnych stosach na krawędziach strefy najść, czyli pod kątem 45° do krawędzi jezdni. Tym sposobem można w strefach najścia stworzyć powierzchnie ogryzowe, z których chętnie korzystają sarny. Gałęzie i ścięte drzewka osik najlepiej jest ułożyć na naprowadzeniach, blisko krawędzi strefy najścia, gdyż w ten sposób zasłoni się ogrodzenia siatkowe i uzyska linię naprowadzeń imitującą „naturalny krajobraz lasu”, tworząc ochronę przeciwolśnieniową i przeciwhałasową (ryc. 4.3–4.5). Takie stopy ogryzowe powinny się sukcesywnie odnawiać z nowych ściętych gałęzi i całych drzewek.

Również bardzo ważnym elementem w strefie przywabiania są nasadzenia dębów (*Quercus*) i buków (*Fagus*), których owoce są pokarmem dla większości zwierząt, gdyż żołędziami i bukwia (owocami buków) żywią się zarówno sarny oraz dziki, jak i jelenie czy losie, a nawet żubry [151, 159]. Jednak dęby nie mają co roku dużo żołędzi, a buki z reguły owocują co kilka lat. Lepiej owocują dęby rosnące na brzegu lasu, wzdłuż dróg lub te rosnące wręcz na otwartym polu, niż te, które rosną w cienistym lesie. Zdaniem ekologów rosnące dęby w pobliżu przejść dla zwierząt trzeba koniecznie chronić przed wycinką w czasie budowy, gdyż stanowią one dla zwierząt naturalny rezerwuuar wysokowydajnego pokarmu, szczególnie istotnego dla saren i dzików. Najlepszym dla zwierząt drzewem jest dąb czerwony (*Quercus rubra*), który owocuje w znacznie młodszym wieku niż inne dęby i w zasadzie owocuje co roku. Uwzględniając wysokowydajny gatunek, jego coroczne prawie owocowanie i przede wszystkim to, że rośnie na słabszych siedliskach borów suchych, powinno się w pobliżu przejść dla zwierząt, w strefie przywabiania, posadzić po kilka drzew tego gatunku.

Bardzo cenny w żywieniu saren, ale nie tylko, jest kasztanowiec (*Aesculus*), który każdego roku owocuje obficie i jest źródłem dobrej jakości i cennego pokarmu dla saren [159]. Kasztany, które przeleżą przez jakiś czas w ściółce i nawilgną, są chętniej zjadane przez sarny, które jeszcze zimą potrafią je wydobyć spod śniegu i ściółki. Z powodu swoich rozmiarów kasztanowiec powinien być sadzony na dościach i w strefie naprowadzającej.

Kolejnym przydatnym nasadzeniem jest krzew żarnowiec miotłasty (*Cytisus scoparius*), który dorasta do wysokości 1,5–2 m. Jest to krzew o bardzo niewielkich wymaganiach glebowych (gleby kwaśne do obojętnych). Ponieważ żarnowiec dobrze rozwija się i rośnie w siedliskach ubogich, może stanowić cenne uzupełnienie podszytu i podrostu. Ponadto krzew ten bardzo łatwo się rozprzestrzenia. Jedyne warunki rozrastania się krzewu są ciepłe i słoneczne osłonięte stanowiska. Jego zielone pędy są miotłaste i wiotkie, ale odgrywają pożyteczną rolę w żywieniu saren. Nasadzenie żarnowca w strefach najścia na przejście górne może stanowić dobre urozmaicenie karmy dla saren. Ponadto, jeśli krzew jest posadzony w najściu koło ekranu, jego rozłożyste gałęzie stanowią cenny element przyczyniający się do zmniejszenia poziomu hałasu.

Na powierzchni przejścia górnego szczególną uwagę przy nasadzeniach, w strefie migracji, należy zwrócić także na wrzos (*Calluna vulgaris*). W słabiej zagospodarowanych siedliskach ma on także udział w żywieniu saren. A sarny to podstawowy w Polsce gatunek zwierząt, które w pierwszej kolejności akceptują dane przejście zlokalizowane nad lub pod drogami. W przypadku posadzenia wrzosu w rejonie najść na przejście dla zwierząt powinno się w miejscach dostępnych stosować ewentualne jego przycinanie w celu pobudzenia procesu odmładzania. Wrzos bardzo szybko się odradza. Młode pędy wrzosu są bardzo chętnie zjadane przez zwierzęta. Szczególnie zalecany jest on do nasadzeń na uformowanych nieregularnych wałach ziemnych, od strony najścia lub na naprowadzeniach.



Ryc. 5.36. Strefa migracji na przejściu Glasin w Niemczech, obsiana trawą z nasadzeniami roślin leśniczych



Ryc. 5.37. Wrotycz pospolity (*Tanacetum vulgare*) – zioło pomagające zwalczać u zwierząt pasożyty

Na górnych przejściach dobrze funkcjonujących, szczególnie w strefach najścia na przejście (z obu stron), na podstawie przeprowadzonych obserwacji autorka zaleca posadzenie w nieregularnych małych kępach kilku rodzajów roślin leczniczych (ryc. 5.36, 5.37).

W strefach najść na mosty zielone wybudowane w Niemczech, z potwierdzoną dobrą funkcjonalnością, stwierdzono podczas corocznych wizji lokalnych nasadzenia takich roślin leczniczych, jak: babka zwyczajna (*Plantago major*), babka lancetowata (*Plantago lanceolata*), mniszek pospolity (*Taraxacum officinale*), podagrycznik pospolity (*Aegopodium podagraria*), pokrzywa (*Urtica dioica*), rdest ptasi (*Polygonum aviculare*) i wrzos (*Calluna vulgaris*). Według opinii ekologów zwierzęta same rozwiązują swoje problemy chorobowe, w sposób naturalny dobierając rośliny lecznicze [159, 237].

Podsumowując ogólne zasady kształtowania zieleni w rejonie przejść górnych, należy wspomnieć o nasadzeniach w aspekcie pochłaniania zanieczyszczeń i oczyszczania powietrza. Zgodnie z badaniami, opisanymi w publikacjach [8, 12, 18, 30], do oczyszczania powietrza zdecydowanie bardziej nadają się drzewa i krzewy liściaste niż iglaste (tzw. zimozielone). Związane jest to z powierzchnią poddaną działaniu zanieczyszczeń.

Powierzchnia liści, poddawana działaniu szkodliwych substancji z powietrza, jest mniejsza niż powierzchnia wszystkich igieł. A ponieważ drzewa i krzewy liściaste co roku gubią w okresie zimowym liście, okres działania zanieczyszczeń jest krótszy niż w przypadku drzew i krzewów zimozielonych. Negatywny wpływ zanieczyszczeń na florę można zaobserwować, np. w postaci uszkodzeń liści i igieł, gdy dochodzi do naruszenia ochronnej warstwy woskowej. Następuje wówczas uszkodzenie aparatów szparkowych regulujących intensywność transpiracji. Prowadzi to do poważnych zakłóceń systemu pozyskiwania przez rośliny związków mineralnych i bilansu wodnego.

Ponadto pyły z zanieczyszczeń i inne związki spalin, osiadające na liściach i igłach, utrudniają dostęp promieniowania słonecznego. Zwiększa to pochłanianie promieniowania cieplnego, co w efekcie może doprowadzić do przegrzania się liści, utrudnienia fotosyntezy i do usychania roślin z powodu deficytu wody w tkankach. W związku z tym, szczególnie w strefach najścia na obiekt, przed przyczółkiem w strefach osłonowych (tj. przy ogrodzeniach), a także na skarpach przyczółków, powinny być sadzone rośliny odporne na zakwaszone gleby i przede wszystkim na wysokie stężenie spalin [8, 30, 245].

W publikacji [30] szczegółowo opisano choroby roślin spowodowane zanieczyszczeniami środowiska, a w publikacji [245] sformułowano kilka wniosków dotyczących doboru roślin pomagających w oczyszczaniu powietrza z zanieczyszczeń. Istnieją bowiem takie drzewa i krzewy, które usuwają nadmiar szkodliwych gazów z powietrza, głównie poprzez ich absorpcję aparatami szparkowymi. Większość zanieczyszczeń stałych w postaci pyłu osadza się na liściach, igłach, gałązkach, następnie jest zmywana z tych części roślin poprzez opady lub jesienią dostaje się do gleby wraz z opadającymi liśćmi, czyli usuwane są z powietrza szkodliwe związki. Zgodnie z rezultatami badań opisanych w artykule [245] duże drzewo oczyszcza powietrze kilkadziesiąt razy efektywniej niż drzewo małe, młode. To wskazuje, jak cenne jest pozostawienie jak najbliżej najścia i całego obiektu istniejącego drzewostanu, gdyż na nowe drzewa trzeba czekać czasami 10–15 lat, a nasadzenia nowych drzew i krzewów nie wpłyną na zwiększenie oczyszczania terenu przejścia górnego z dnia na dzień. Do gatunków drzew o wyższej emisji tlenu należą platan (*Platanus spp.*), topola (*Populus spp.*), dąb (*Quercus spp.*), grochodrzew (*Robinia spp.*) i wierzba (*Salix spp.*). Również dużą rolę w oczyszczaniu powietrza odgrywają: morwa (*Morus spp.*), śliwa (*Prunus spp.*), lipa (*Tilia spp.*), gledicja (*Gleditsia spp.*), klon (*Acer spp.*), cis pospolity (*Taxus baccata*), jałowiec sabiński (*Juniperus sabina*), lilak Meyera (*Syringa meyeri*) oraz mikrobiota syberyjska (*Microbiota decussata*), orzech czarny (*Juglans nigra*), jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior*), buk pospolity (*Fagus sylvatica*), cyprysik Lawsons (*Chamecyparis lawsoniana*). I te gatunki, jeśli rosną w pobliżu przejścia górnego, należałoby zachować, natomiast nowe nasadzenia wykonać tylko w przypadku potwierdzenia bytności danego gatunku drzewa w najbliższej okolicy.

Z roślin iglastych przyczyniających się do oczyszczania powietrza, co może być istotne w okresach zimowych, w artykule [245] wymienia się: jałowiec chiński (*Juniperus chinensis*), żywotnik olbrzymi (*Thuja plicata*), daglezień zieloną (*Pseudotsuga menziesii*), cis pośredni (*Taxus media*), sosnę czarną (*Pinus nigra*), choinę kanadyjską (*Tsuga canadensis*) i świerk kłujący (*Picea pungens*).

A to oznacza, że jeśli w istniejącym stanie siedliska przed budową na terenie planowanego przejścia górnego w najbliższym otoczeniu lasu bądź zagajników rosną ww. gatunki drzew, to należy dokonać wszelkich starań, by te drzewa lub krzewy ochronić przed wycinką i tak dobrać typ konstrukcji obiektu, aby teren wycinki drzew w pobliżu budowanego przejścia górnego był jak najmniejszy i żeby istniejący drzewostan poniósł jak najmniejsze straty w ww. gatunkach (tab. 5.1).

Tab. 5.1. Zalecane nasadzenia na wskazanym obszarze

Miejsce nasadzeń	Rodzaj nasadzeń	Uwagi
Strefa buforowa, strefa dojścia i najścia na obiekt	platan (<i>Platanus spp.</i>), topola (<i>Populus spp.</i>), dąb (<i>Quercus spp.</i>), grochodrzew (<i>Robinia spp.</i>), wierzba (<i>Salix spp.</i>), morwa (<i>Morus spp.</i>), śliwa (<i>Prunus spp.</i>), lipa (<i>Tilia spp.</i>) i gledicja (<i>Gleditsia spp.</i>), klon (<i>Acer spp.</i>), cis pospolity (<i>Taxus baccata</i>), jałowiec sabiński (<i>Juniperus sabina</i>), lilak Meyera (<i>Syringa meyeri</i>), mikrobiota syberyjska (<i>Microbiota decussata</i>), orzech czarny (<i>Juglans nigra</i>), jesion wyniosły (<i>Fraxinus excelsior</i>), buk pospolity (<i>Fagus sylvatica</i>), cyprysik Lawsona (<i>Chamecyparis lawsoniana</i>)	W strefie buforowej zalecane jest omijanie karczowania tych gatunków drzew. W strefie najścia zalecane jest stosowanie ewentualnych przesadzeń, z uwzględnieniem zalecanego terminu sadzenia
Strefa przywabiania, szczególnie na krawędzi strefy dojścia przylegającej do strefy najścia	dąb (<i>Quercus</i>), buk (<i>Fagus</i>), dąb czerwony (<i>Quercus rubra</i>), kasztanowiec (<i>Aesculus</i>)	Należy dosadzać pojedyncze sztuki
Strefa naprowadzająco-osłonowa i strefa najścia z nasadzeniami roślin liściastych	żarnowiec miotlasty (<i>Cytisus scoparius</i>), wierzba wawrzynkowa (<i>Salix daphnoides</i>), trzmielina wielkoskrzydła (<i>Euonymus macropterus</i>), dziki bez czarny (<i>Sambucus nigra</i>), rokitnik pospolity (<i>Hippophae rhamnoides</i>), leszczyna (<i>Corylus</i>), jeżyny (<i>Rubus</i>), maliny (<i>Robus idaeus</i>), porzeczka alpejska (<i>Ribes alpinum</i>)	W etapie wstępnym należy zastosować nasadzenia w ogrodzonych zagajnikach
Strefa naprowadzająco-osłonowa i strefa najścia z nasadzeniami roślin iglastych	jałowiec chiński (<i>Juniperus chinensis</i>), żywotnik olbrzymi (<i>Thuja plicata</i>), daglezień zielona (<i>Pseudotsuga menziesii</i>), cis pośredni (<i>Taxus media</i>), sosna czarna (<i>Pinus nigra</i>), choina kanadyjska (<i>Tsuga canadensis</i>), świerk kłujący (<i>Picea pungens</i>)	Sadzonki odporne na mróz i susze
Strefa migracji z nasadzeniami roślin leczniczych	babka zwyczajna (<i>Plantago major</i>), babka lancetowata (<i>Plantago lanceolata</i>), mniszek pospolity (<i>Taraxacum officinale</i>), podagrycznik pospolity (<i>Aegopodium podagraria</i>), pokrzywa (<i>Urtica dioica</i>), rdest ptasi (<i>Polygonum aviculare</i>), wrzos (<i>Calluna vulgaris</i>), wrotycz pospolity (<i>Tanacetum vulgare</i>)	
Strefa migracji z nasadzeniami bluszczu na ekranach	akebia pięciolistkowa (<i>Akebia quinata</i>), zimozielony bluszcz pospolity (<i>Hedera helix</i>)	Bluszcz zaleca się sadzić po wewnętrznej stronie ekranów, od strony strefy migracji
Skarpy przyczółków	wierzba wawrzynkowa (<i>Salix daphnoides</i>), trzmielina wielkoskrzydła (<i>Euonymus macropterus</i>), dziki bez czarny (<i>Sambucus nigra</i>), morwa (<i>Morus latifolia 'Spirata'</i>), klon czerwony (<i>Acer rubrum</i>)	Krzewy sadzić zgodnie z zalecanym terminem, stosując dobrze ukształtowane sadzonki

Ostatnia konkluzja w artykule [245] dotyczy długo utrzymujących liście jesienią pnączy i bluszczu, sadzonych przy ekranach na przejściach górnych. Najważniejszymi z gatunków długo utrzymujących liście jesienią są pnącza akebii pięciolistkowej (*Akebia quinata*) i zimozielonego bluszczu pospolitego (*Hedera helix*). Autorka zaleca na podstawie własnych wieloletnich badań i obserwacji, prowadzonych na przejściach habitatowych w Niemczech, by bluszcz był sadzony przy ekranach na obiektach, ale od strony strefy migracji zwierząt, gdyż w odróżnieniu od akebii jest dużo bardziej wrażliwy na aerozol solny. Natomiast przy przyczółkach od strony jezdni, na skarpach i w najbliższym ich otoczeniu, powinny być posadzone wierzby wawrzynkowe (*Salix daphnoides*), trzmieliny wielkoskrzydłe (*Euonymus macropterus*), dziki bez czarny (*Sambucus nigra*), morwy (*Morus latifolia* 'Spirata'), klon czerwony (*Acer rubrum*).

5.2. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie sarny i daniela

Z obserwacji większości wybudowanych przejść wynika, że w pierwszej kolejności nowe obiekty zaakceptowały sarny i daniela. Chcąc zaprojektować przejście o dobrej funkcjonalności, należy zadbać o zagospodarowanie stref naprowadzających i osłonowych, planując posadzenie w nich krzewów, stanowiących jeden ze składników pożywienia saren i danieli.

Bardzo przydatne jako wysokowartościowy pokarm witaminowy w żywieniu saren są wszelkiego rodzaju owoce leśne [115, 159]: jarzębina (*Sorbus aucuparia*), dzika jabłoń (*Malus sylvestris*), dzika grusza (*Pyrus communis*), śliwa tarnina (*Prunus spinosa*), głóg (*Crataegus*), bez czarny (*Sambucus nigra*), bez koralowy (*Sambucus racemosa*), jeżyna (*Rubus*) i malina (*Robus idaeus*). Uwzględniając powyższe, w strefach naprowadzająco-osłonowych każdego przejścia, na którym przewidziana jest migracja saren i danieli, powinno się zadbać o nasadzenia ww. drzew i krzewów.

Sarny korzystają także z roślin, które zjadają również inne zwierzęta. Takim tzw. żerem na pniu, z którego chętnie korzystają sarny, są maliny (*Robus*), jeżyny (*Robus idaeus*) i borówki (*Vaccinium*). Borówek nie da się wyhodować; są one gatunkiem roślin dziko rosnących. Sarny jedzą nie tylko owoce borówek, ale także ich liście i pędy. Ale najpopularniejsze są krzewy malin i jeżyn w nasadzeniach uzupełniających, stosowanych w strefach najścia, specjalnie dla migrujących saren i danieli. Na obiektach o dobrej funkcjonalności, wybudowanych nad autostradą A20, odnotowano obecność i coroczne uzupełnianie tych krzewów owocowych bezpośrednio w najściach na te obiekty.

Sarny także chętnie jedzą przesuszone liście i łodygi pokrzyw (*Urtica dioica*), więc można je sadzić w dowolnych miejscach na obiekcie i na dojściu do obiektu, szczególnie tam, gdzie przejścia habitatowe mają być zabezpieczone przed ludźmi. Godne polecenia są także nasadzenia z tapinamburu (*Helianthus tuberosus*). Bulwy tych roślin są znakomitą karmą soczystą. Wielką ich zaletą jest odporność na mróz. Sarny wykopują bulwy bezpośrednio z ziemi. Jednak każdego roku należy tapinambur dosadzać, w związku z czym należy przewidzieć na obiekcie prace utrzymaniowe, co nie jest zalecane.

5.3. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie jelenie

W przypadku jeleni ważna jest nie tylko szerokość funkcjonalna przejścia górnego, ale także posadzenie krzewów w strefie naprowadzająco-osłonowej, przywabiających jelenie do danego przejścia.

W pożywieniu jeleni wymienia się drzewa i krzewy (49 gatunków), które są najważniejszymi roślinami żerowymi [58, 92, 1115]. Dostarczają one jeleniom pokarmu w postaci pędów, kory, liści i owoców. Najważniejszymi gatunkami drzew, w kolejności według malejącego znaczenia, są: sosna pospolita (*Pinus sylvestris*), grab (*Carpinus*), brzoza brodawkowata (*Betula pendula*), dąb bezszypułkowy (*Quercus petraea*),

dąb szypułkowy (*Quercus robur*), olsza czarna (*Alnus glutinosa Gaertn*), jarzębina (*Sorbus aucuparia*), topola osika (*Populus tremula*), klon (*Acer*), a spośród krzewów: leszczyna (*Corylus*), kruszyna (*Frangula alnus Mill*), malina (*Robus*), wierzba iwa (*Salix caprea*), jałowiec (*Juniperus*), wierzba szara (*Salix cinerea*). Jeśli na przejściu górnym przewiduje się migrację jeleni, to ww. drzewa i krzewy powinny być sadzone w strefie najść i w strefie naprowadzająco-osłonowej.

Ważnym elementem zagospodarowania powierzchni przejścia górnego, na którym przewidziana jest migracja jeleni, są nasadzenia różnego rodzaju krzewinek (*fruticulus*). Najważniejszymi gatunkami krzewinek, będącymi ważnymi składnikami w diecie jeleni, są bagno i borówki (czarna, brusznica i błotna). Natomiast spośród roślin dwuliściennych (109 gatunków) najważniejsze są [92]: pszeńce (*Melampyrum pratense*), szczawik zajęczy (*Oxalis acetosella*), zawilec (*Anemone*), poziomka (*Fragaria*), dąbrówka (*Burgundy Glow*), konwalia (*Convallaria majalis*), szczaw (*Rumex*), gajowiec (*Galeobdolon luteum Huds*) i gwiezdnicza (*Stellaria media*).

Zgodnie z uwagami specjalistów zajmujących się żywieniem jeleni, sformułowanymi w pracy [92], najważniejsze spośród 48 zjadanych przez jeleni gatunków traw i turzyc są: *Calamagrostis arundinacea*, *Luzula pilosa*, *Carex digitata*, *Agrostis vulgaris*, *Agrostis canina* i *Calamagrostis epigejos*.

Uwzględniając powyższe, przy projektowaniu zagospodarowania powierzchni przejścia górnego i strefy naprowadzającej, z którego korzystają głównie jelenie, należy pamiętać przy planowaniu zagospodarowania przejścia o tym, że dieta jeleni zmienia się w zależności od pory roku. Według wniosków z badań przedstawionych w pozycji [92]:

- wiosną trawy, turzyce i sity stanowią 37% diety; resztę stanowią drzewa i krzewy – 28%, zioła – 19%, krzewinki – 14%;
- latem najważniejszą grupą zjadanych roślin są zioła – 41%, drzewa i krzewy – 29%, krzewinki – 18% i trawy – 10%;
- jesienią przeważają krzewinki – 34%, poza tym drzewa i krzewy – 22%, trawy – 21% i zioła – 16%;
- zimą pokarm pochodzący z drzew i krzewów stanowi niemal 50% diety jeleni; oprócz nich zjadane są krzewinki w ilości 39%.

Biorąc pod uwagę powyższe zróżnicowanie diety jelenia, warto zadbać o znaczne urozmaicenie nasadzeń – zarówno w strefach naprowadzająco-osłonowych, jak i w strefie migracji.

5.4. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie łosie

Chociaż łoś zapuszcza się niekiedy na tereny uprawne w poszukiwaniu buraków lub owsa, jego prawdziwą siedzibą jest las, w którym znajduje podstawowe pożywienie – delikatne gałązki i listowie. Łoś ze względu na swoją posturę poszukuje łatwiej dostępnego pożywienia, np. żerując na miękkich częściach drzew i krzewów lub w bagnach i na strefie przybrzeżnej jezior. Latem dorosły łoś pochłania 22–27 kg pożywienia dziennie [115, 162].

Jeśli na przejściu górnym przewiduje się migrację łosi, to w strefie naprowadzająco-osłonowej powinno się zadbać o cykliczne uzupełnianie nasadzeń młodych sadzonek: sosny (*Pinus*), wierzby (*Salix*), olch (*Alnus Mill*), osiki (*Populus tremula*), brzoź (*Betula*), świerków (*Picea A. Dietr*) czy klonów (*Acer*), a także roślin piętra alpejskiego i wodnych, obfitujących w sód, gdyż najważniejszymi składnikami pożywienia łosia są najczęściej nowo wyrastające gałązki, liście, młode pędy ww. drzew i krzewów. Łoś, mając krótką szyję, radzi też sobie inaczej – wchodzi na krzewy, łamie je, aby dosięgnąć na ich wierzchołkach do najdelikatniejszych młodych pędów, a także liści, pąków czy owoców [115, 162].

Łoś żywi się również roślinami zielonymi, głównie podwodnymi i błotnymi, np. kaczeńcami (*Caltha palustris*), ale zjada też trawy i turzyce porastające brzegi zbiorników wodnych. Jeśli w pobliżu strefy naprowadzająco-

-osłonowej na przejście, z którego ma korzystać łoś, znajduje się jakiś zbiornik wodny, to należy zadbać o to, by w jego pobliżu znalazły się rośliny podwodne i błotne oraz kaczeńce.

5.5. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie dziki

Dzik jest typowym wszystkożercą, choć główny jego pokarm stanowią jednak rośliny. Żywi się m.in. [59, 60, 241]: trawami, ziołami, liśćmi lub korzeniami krzewów, owocami leśnymi, czyli żołędziami i orzeszkami buczynowymi, tzw. bukwią, a także jagodami i grzybami oraz kłęczami roślin. Dziki są utrapieniem dla rolników, gdyż ryjąc, potrafią poczynić wielkie szkody, zwłaszcza w uprawach roślin bulwiastych. Poza pokarmem roślinnym główny pokarm dzika stanowią: różnego rodzaju bezkręgowce, dżdżownice, ślimaki, owady i ich larwy, jaja ptasie, mięczaki, gniazda trzmieli, młode ptactwo, padlina i drobne gryzonie, których nory odnajduje węchem. Pokarm roślinny u dzików stanowi około 90%, a pokarm zwierzęcy – około 10%.

Jeśli na przejściu przewiduje się migrację dzików, to w strefie naprowadzająco-osłonowej dobrze jest uzupełnić na krawędzi lasu nasadzenia dębów (*Quercus*), a w niewielkich zagajnikach naprowadzających posadzić topinambur (*Helianthus tuberosus*), buki (*Fagus*) i ziemniaki (*Solanum tuberosum*).

5.6. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie żubry

Żubry preferują otwarte przestrzenie: łąki, polany lub zręby. Żerując na runie leśnym, nigdy dłużej nie pozostają w tym samym miejscu, co umożliwia regenerację roślinności. Żubry zjadają wiele gatunków roślin. Zwłaszcza w okresie późnej zimy i wczesną wiosną podstawę pożywienia żubrów stanowi [35, 119, 150]: spalowana kora oraz pędy niektórych drzew i krzewów.

Ogólnie jednak podstawę ich pokarmu stanowią rośliny zielne i trawy (70–90% całości pokarmu), znajdujące na dnie lasu i na zrębach oraz na łąkach czy polach uprawnych znajdujących się w pobliżu lasu. Wśród traw w pożywieniu żubra przeważa trzcinnik, a wśród zjadanych roślin zielnych przeważają: podagrycznik (*Aegopodium podagraria*), pokrzywa zwyczajna (*Urtica dioica*), jaskier kosmaty (*Ranunculus lanuginosus*), ostrożeń warzywny (*Cirsium oleraceum*).

Jeśli z przejścia habitatowego mają korzystać żubry, to warto zadbać o nasadzenia ww. roślin zielnych w najściu na obiekt i na jego powierzchni w strefie migracji, a na krawędziach naprowadzeń na przejście – o uzupełnianie nasadzeń grabu (*Carpinus*), jesionu (*Fraxinus*), brzozy (*Betula*), lipy (*Tilia cordata*), wiązu (*Ulmus*), jeżyn (*Rubus*), malin (*Robus idaeus*), gdyż pędy drzewiastych roślin są przez żubry najchętniej zjadane.

Ulubionym pokarmem żubra są także żołędzie i bukiew, wobec czego w zagajnikach naprowadzających na granicy strefy najścia i dojścia na obiekt można zastosować nasadzenia buku (*Fagus*) i dębów (*Quercus*).

5.7. Nasadzenia zalecane na obiektach, po których mają migrować głównie niedźwiedzie

Niedźwiedź brunatny jest w zasadzie wszystkożerny, ale większą część jego pokarmu stanowią rośliny [5, 113, 145, 190, 191], np.: jagody, grzyby, owies, bukiew (czyli nasiona buka), żołędzie, podziemne części roślin zielnych. Szczególnie lubi on owoce jeżyn (*Rubus*) i malin (*Robus idaeus*) oraz miód. Niedźwiedź szczególnie intensywnie żeruje w jesieni, odkładając w organizmie duże zapasy tłuszczu, które pozwalają mu nie odżywiać się w okresie snu zimowego.

W przypadku obiektów, na których przewiduje się migrację niedźwiedzia, warto zadbać o nasadzenia w strefach najścia oraz naprowadzająco-osłonowych o coroczne uzupełnienia nasadzeń jeżyn (*Rubus*), malin (*Robus idaeus*), a na krawędziach lasu, na granicy strefy najścia i dojścia na obiekt, posadzić buki (*Fagus*) i dęby (*Quercus*).

5.8. Zestawienie zalecanych nasadzeń na górnych przejściach dla zwierząt

Jako konkluzję ww. zaleceń w tab. 5.2 zawarto charakterystyczne nasadzenia w poszczególnych strefach.

Tab. 5.2. Zalecane nasadzenia na wskazanym obszarze, z uwzględnieniem dominujących gatunków zwierząt

Miejsce nasadzeń	Sarny i daniela	Jeleń	Łoś	Dziki	Żubry	Niedźwiedzie
Nasadzenia w strefie przywabiania						
Dąb (<i>Quercus</i>)	X	X	–	–	X	X
Buk (<i>Fagus</i>)	–	–	–	–	X	X
Dąb czerwony (<i>Quercus rubra</i>)	–	X	–	–	X	X
Kasztanowiec (<i>Aesculus</i>)	X	X	–	X	–	–
Grab (<i>Carpinus</i>)	–	–	–	–	X	–
Jesion (<i>Fraxinus</i>)	–	–	–	–	X	–
Brzoza (<i>Betula</i>)	–	–	–	–	X	–
Jarzębina (<i>Sorbus aucuparia</i>)	X	X	X	–	–	–
Topola osika (<i>Populus tremula</i>)	–	X	–	–	–	–
Topinambur (<i>Helianthus tuberosus</i>)	X	–	–	X	–	–
Ziemniaki (<i>Solanum tuberosum</i>)	–	–	–	X	–	–
Liście, gałązki i owoce: dzika jabłoń (<i>Malus sylvestris</i>), dzika grusza (<i>Pyrus communis</i>), śliwa tarnina (<i>Prunus spinosa</i>), głóg (<i>Crataegus</i>), bez czarny (<i>Sambucus nigra</i>), bez koralowy (<i>Sambucus racemosa</i>), leszczyna (<i>Corylus</i>)	X	X	X	X	X	X
Młode sadzonki: sosna (<i>Pinus</i>), wierzba (<i>Salix</i>), olcha (<i>Alnus Mill</i>), osiki (<i>Populus tremula</i>), brzoza (<i>Betula</i>), świerk (<i>Picea A. Dietr</i>), klon (<i>Acer</i>)	X	X	X	–	–	–
Kruszyna (<i>Frangula alnus Mill</i>)	X	X	X	–	–	–
Wierzba iwa (<i>Salix caprea</i>), jałowiec (<i>Juniperus</i>), wierzba szara (<i>Salix cinerea</i>)	X	X	X	X	–	–
W oczku wodnym: kaczęce (<i>Caltha palustris</i>)	–	–	X	–	–	–
Nasadzenia w strefie naprowadzająco-osłonowej						
Wierzba wawrzynkowa (<i>Salix daphnoides</i>)	X	X	X	X	–	–
Leszczyna (<i>Corylus</i>)	–	X	X	X	–	–
Jeżyny (<i>Rubus</i>)	X	X	X	X	X	X
Maliny (<i>Robus idaeus</i>)	X	X	–	X	X	X
Porzeczka alpejska (<i>Ribes alpinum</i>)	X	X	–	X	–	–
Trzcinnik	–	–	X	–	X	–
Trawy i Turzyce	X	X	X	–	X	–
Krzewinki	X	X	X	–	–	–
Nasadzenia roślin leczniczych w strefie migracji						
Babka zwyczajna (<i>Plantago major</i>)	X	X	X	X	X	X
Babka lancetowata (<i>Plantago lanceolata</i>)	X	X	X	X	X	X
Mniszek pospolity (<i>Taraxacum officinale</i>)	X	X	X	X	X	X
Podagrycznik pospolity (<i>Aegopodium podagraria</i>)	X	X	X	X	X	X
Pokrzywa (<i>Urtica dioica</i>)	X	–	–	–	–	–
Rdest ptasi (<i>Polygonum aviculare</i>)	X	X	X	X	X	X
Wrzos (<i>Calluna vulgaris</i>)	X	X	X	X	X	X
Wrotycz pospolity (<i>Tanacetum vulgare</i>)	X	X	X	X	X	X
Jaskier kosmaty (<i>Ranunculus lanuginosus</i>)	X	X	X	X	X	X
Ostrożeń warzywny (<i>Cirsium oleraceum</i>)	X	X	X	X	X	X

6. Wpływ sposobu zagospodarowania przejść dla zwierząt na poziom hałasu drogowego

6.1. Wprowadzenie

Uwzględniając potrzebę zrównoważonego projektowania górnych przejść przyjaznych zwierzętom, należy również określić wpływ zastosowanego zagospodarowania, w otoczeniu obiektu, w strefie naprowadzająco-osłonowej, a także w strefie najścia i migracji, na poziom hałasu drogowego. I tego właśnie zagadnienia dotyczy niniejszy rozdział. Na podstawie kilkuletnich badań rozkładu hałasu autorka wykazała bezpośrednie związki pomiędzy zastosowanym zagospodarowaniem terenu przejścia a uzyskanym mikroklimatem akustycznym. Rezultaty badań, biorąc pod uwagę wysokie ogólne koszty budowy przejść habitatowych, mogą okazać się bardzo przydatne przy opracowywaniu projektu zagospodarowania zielenią górnych przejść dla zwierząt dziko żyjących.

Zgodnie z zasadami zrównoważonego projektowania na przejściach habitatowych powinno się zwrócić szczególną uwagę na **dbałość o środowisko, zasadę 3r i szacunek do użytkownika**. Rozwijając te zasady w odniesieniu do zagospodarowania terenu zielenią, autorka niniejszej monografii przeprowadziła badania rozkładu hałasu na terenie wybranych przejść górnych i w ich otoczeniu oraz przeanalizowała klimat akustyczny przy różnym zagospodarowaniu ich powierzchni, uzyskując unikatowe wyniki dotyczące konieczności budowy wałów ziemnych i ich lokalizacji, a także lokalizacji zagajników i nasadzeń w celu uzyskania jak najdogodniejszego dla zwierząt mikroklimatu na terenie przejścia. Sformułowane propozycje zagospodarowania terenu zielenią, wynikające bezpośrednio z przeprowadzonych badań, uwzględniają nie tylko lokalizację wałów ziemnych i zagajników na analizowanym terenie, ale także odnoszą się do doboru gatunków roślinności.

W odniesieniu do środowiska zwierzęcego nie ma określonych norm dotyczących dopuszczalnego poziomu hałasu na stosowanych przejściach habitatowych. Rozporządzenie [176] wprowadza pojęcie „środowisko” i definiuje je jako obszar, na którym przebywają lub który zamieszkują ludzie. Niestety, w ww. rozporządzeniu nie wspomina się o dopuszczalnych poziomach hałasu na obiektach habitatowych i innych miejscach, gdzie bytują zwierzęta. A wrażliwość ucha ludzkiego, w odniesieniu do zakresu słyszalności zwierząt, jest inna. W wielu przypadkach wysokie dźwięki słyszalne przez zwierzęta są dla ucha ludzkiego poza zasięgiem słyszalności. Szerszych pasm słyszalności zwierząt nie uwzględnia się również w procesie projektowania i użytkowania obiektów habitatowych. Nieznajomość pasm słyszalności zwierząt może doprowadzić do takiej sytuacji, że dźwięk niesłyszalny dla człowieka będzie wywierać silne niekorzystne oddziaływanie na zwierzęta. Szersza definicja „środowiska”¹, obejmująca krajobraz, klimat oraz pozostałe elementy różnorodności biologicznej, podana jest w Ustawie [228], jednak w niej również nie wymieniono zwierząt dziko żyjących.

Podstawowym aktem prawnym regulującym zagadnienia związane z ochroną środowiska przed hałasem jest ww. ustawa. Problemy związane z hałasem w środowisku zostały także uregulowane w następujących aktach prawnych: *Ustawie Prawo budowlane* [147], *Ustawie o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym* [228], *Ustawie o Inspekcji Ochrony Środowiska* [226] i w pozycji [178].

Przez pojęcie „hałas”, wg Ustawy [228], należy rozumieć dźwięki o częstotliwości od 16 Hz do 16 000 Hz, rozumiane jako wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania rozprzestrzeniające się w powietrzu w postaci fal akustycznych o częstotliwości i natężeniu stwarzającym uciążliwość dla ludzi i środowiska.

¹ Przez pojęcie „środowisko” należy rozumieć ogół elementów przyrodniczych, w tym także przekształconych w wyniku działalności człowieka, a w szczególności powierzchnię ziemi, kopaliny, wody, powietrze, krajobraz, klimat oraz pozostałe elementy różnorodności biologicznej, a także wzajemne oddziaływania pomiędzy tymi elementami [228, art. 3].

Natomiast w *Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady* [57], odnoszącej się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, hałas jest rozumiany jako „[...] niepożądane lub szkodliwe dźwięki powodowane przez środki transportu, ruch drogowy, ruch kolejowy, ruch lotniczy oraz hałas pochodzący z obszarów o działalności przemysłowej [...]” [57, art. 3]. Porównanie obu ww. definicji wskazuje, że nie ma jednoznacznej definicji hałasu, gdyż jest to zjawisko subiektywne, przy czym istotne jest jego źródło. Głównym źródłem informacji o hałasie w środowisku, zgodnie z ustawą [228], jest państwowy monitoring środowiska, stanowiący system pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia i rozpowszechniania informacji o środowisku. W przypadku przejść habitatowych szczególnie istotne są zapisy o wspomaganiu działań na rzecz ochrony środowiska, rozumianych jako elementy przyrodnicze [228].

W Ustawie dotyczącej prawa o ochronie środowiska w odniesieniu do przejść habitatowych ważne są dwa zapisy, a mianowicie zapis o prowadzeniu długookresowej polityki ochrony środowiska przed hałasem, czyli o opracowywaniu map akustycznych, oraz zapis o ustalaniu i kontroli warunków korzystania ze środowiska [228]. Jednak drugi zapis w odniesieniu do przejść habitatowych jest nieadekwatny do aktualnego stanu wiedzy, gdyż w literaturze poświęconej ochronie środowiska brakuje potwierdzonych wyników badań wpływu hałasu na różne gatunki zwierząt żyjących w danym środowisku. Stosowanie w odniesieniu do przejść habitatowych wytycznych, sformułowanych w odniesieniu do miejsc zamieszkałych przez ludzi, może budzić wiele wątpliwości.

Dodatkowe wątpliwości może także stwarzać sama definicja hałasu, dostosowana do skorygowanej krzywej korekcyjnej A, gdyż progi oraz pasma słyszalności ludzi i zwierząt różnią się od siebie i to znacznie. Wartości hałasu, obliczone lub zmierzone z wykorzystaniem wspomnianych krzywych, oznaczane są jako dB(A) oraz dB(C). Pomiar hałasu podane w dB(A) pozwalają porównać wartość dźwięku (czyli jedną liczbę) z wartościami dopuszczalnymi i ocenić ewentualne przekroczenia tych wartości. Skala hałasu odbieranego przez ucho ludzkie rozciąga się od progu słyszalności (0 dB(A)) wzwyż, poprzez próg bólu, tj. 130 dB(A). Na przykład szept jest słyszalny na poziomie 20 dB(A), zwykła rozmowa – na poziomie ok. 60 dB(A); przy przelocie samolotu poziom hałasu sięga 120 dB(A).

Chcąc opisać zjawisko hałasu tak, jak odbierany jest on przez ludzki zmysł słuchu, za pomocą tylko jednej liczby, gdyż „[...] człowiek nie słyszy równomiernie w całym zakresie częstotliwości akustycznych, stosuje się dodatkowe krzywe korekcyjne w dziedzinie częstotliwości tzw. A, B, C i D [...]” [157, s. 3]. Najbardziej popularna jest krzywa typu A, używana w większości przepisów dotyczących dopuszczalnych poziomów hałasu. „[...] Krzywe te stworzono po to, aby wiedzieć, jakiego ciśnienia „użyć” przy danej częstotliwości, aby w efekcie ucho ludzkie słyszało równomiernie w całym zakresie [...]” [157, s. 3]. Krzywa A odnosi się do głośności z zakresu 0–40 fonów², krzywa B – do 40–70 fonów, a krzywa C – do 70–100 fonów [157]. „[...] Z czasem zaistniała potrzeba stworzenia krzywej D odnoszącej się do największych głośności (huk samolotów odrzutowych, startujące rakiety itp.) [...]” [157, s. 3].

Drugim terminem przy rozważaniu ochrony środowiska przed hałasem jest „klimat akustyczny środowiska” rozumiany jako zespół zjawisk akustycznych występujących na danym obszarze, niezależnie od źródeł je wywołujących [48, 50, 183]. Klimat akustyczny zależy głównie od stopnia nasycenia danego środowiska infrastrukturą i siecią drogową oraz od układu urbanistycznego, wraz z terenami zieleni. W odniesieniu do opisywanych przejść habitatowych można dodatkowo wyróżnić mapy akustyczne, które powinny się obowiązkowo wykonywać co pięć lat [228]. W przypadku przejść górnych dla zwierząt dziko żyjących ważny jest rodzaj danej mapy, gdyż będzie ona wykonywana, po pierwsze, standardowo w wartościach decybeli podanych wg krzywej A, a po drugie, ważne może okazać się na niej zaznaczenie istniejącego zagospodarowania terenu, lokalizacji ekranu, natężenia ruchu i różnicy wysokości otaczającego terenu.

² Głośność jest to wielkość subiektywna opisująca, jak duże wrażenie akustyczne wywołuje dany poziom ciśnienia przy danej częstotliwości. Jednostką głośności jest fon. Dwadzieścia fonów to głośność, jaką wytwarza ciśnienie akustyczne 20 dB, przy częstotliwości 1 kHz.

Biorąc pod uwagę powyższe czynniki, w dalszej części rozdziału, przy braku odpowiednich wytycznych, podano wartości hałasu wg krzywej korekcyjnej A w celu lepszego zrozumienia jego wielkości i możliwości porównania go z odbiorem przez ucho ludzkie.

Warto w tym miejscu przeanalizować rezultaty badań oddziaływania hałasu w odniesieniu do ptaków w Holandii, które skomentowano w *Raporcie* [158], powołując się na publikację holenderską [170]. Holendrzy w latach 1984–1991 wykonali badania rozkładu poziomego hałasu w otoczeniu dróg na terenach otwartych oraz w lasach, chcąc oszacować wpływ oddziaływania dróg na wielkość populacji ptaków. Wyniki badań opublikowali w 1995 r., różnicując otrzymane zależności wpływu hałasu na wielkość populacji różnych gatunków ptaków, o najmniejszych i największych wartościach progowych i ogólnej liczby ptaków żyjących na terenach otwartych oraz w lasach. Ponadto w publikacji [170] podano także zależności gęstości różnych populacji ptaków od odległości od drogi, odnosząc je do zmniejszającego się poziomu hałasu w miarę wzrastającej odległości od drogi.

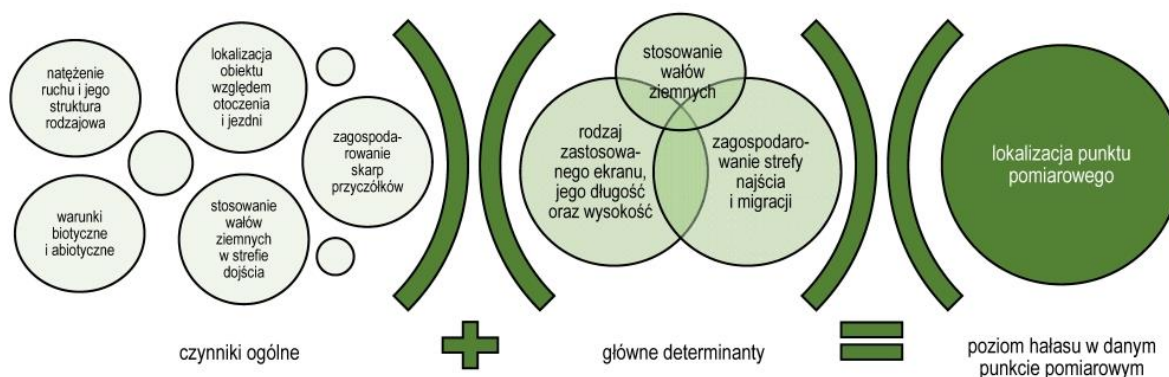
Wszystkie wyniki badania rozkładu wartości hałasu były podane w odniesieniu do krzywej A, w dB(A). Analiza rezultatów badań wykazuje, że na terenach otwartych negatywny wpływ hałasu drogowego na populację ptaków można zaobserwować już od poziomu hałasu równego 50 dB(A), a w odniesieniu do ptaków żyjących w lasach – od 40 dB(A). Badania dotyczyły 33 gatunków ptaków żyjących w 45 różnorodnych kompleksach leśnych i siedmiu gatunków ptaków żyjących w 12 różnorodnych terenach otwartych. Negatywny wpływ hałasu drogowego powodował stopniowe zmniejszanie się liczebności populacji ptaków w zależności od rozkładu poziomego hałasu zmierzonego w różnych odległościach od drogi [170].

Analiza otrzymanych przez Holendrów rezultatów badań wskazuje, że można określić, w zależności od natężenia i struktury rodzajowej ruchu, odległość od drogi, od której zmniejsza się gęstość populacji ptaków lub odległość, od której następuje obniżenie się jakości funkcjonowania danego siedliska. Obie te odległości w przypadku małej populacji ptaków są jednakowe, a w przypadku dużej populacji ptaków odległość obniżenia się jakości siedliska jest 10-krotnie większa niż odległość, od której zmniejsza się gęstość dużej populacji. Konkretnie odległości zależą od natężenia ruchu na analizowanej drodze i np. w odległości 400 m od drogi, z dobowym natężeniem ruchu równym 25 000–75 000 P/24h, może nastąpić redukcja populacji o ok. 50%, a przy dobowym natężeniu ruchu 5 000–10 000 P/24h może nastąpić redukcja danej populacji o 12–20%. W odległości 1200 m od drogi te udziały procentowe redukcji danej populacji znacznie się zmniejszają i wynoszą odpowiednio 14–25% oraz 6–8%.

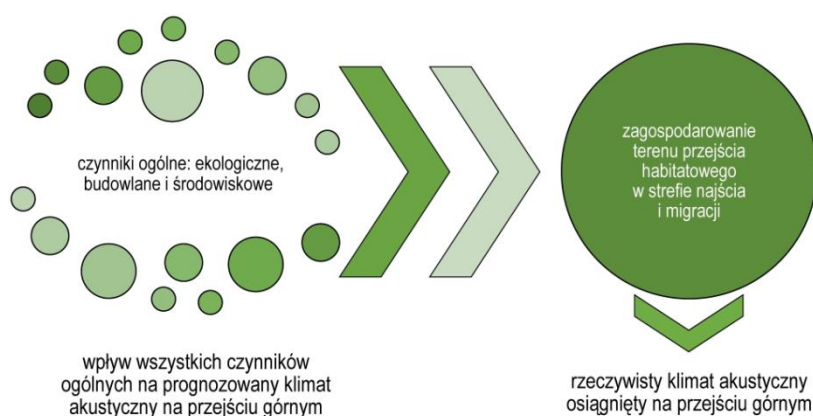
Do rezultatów badań holenderskich odniesiono się również w publikacji [40], przytaczając wynikowe wykresy wraz z ich komentarzem. Natomiast na podstawie podobnych badań wykonanych w Szwecji stwierdzono, że model zaproponowany przez Holendrów może nie mieć bezpośredniego zastosowania w innych krajach, gdyż w Szwecji rezultaty badań były inne i czasami przeciwstawne do wyników holenderskich, co oznacza, że niektóre populacje miały większą gęstość na obszarach położonych bliżej drogi niż na obszarach znajdujących się dalej od drogi [40, 87, 88, 89].

Jednym z zasadniczych czynników wpływających na poziom hałasu jest natężenie ruchu i jego struktura rodzajowa, nie mniej jednak lokalizacja drogi na poziomie otaczającego terenu czy w wykopie ma również zasadnicze znaczenie. Ponadto o poziomie hałasu w pojedynczym punkcie pomiarowym decyduje zagospodarowanie najbliższego otoczenia (ekrany, las, teren otwarty, nasadzenia i ich rodzaj, gęstość, wysokość i jego lokalizacja względem drogi (ryc. 6.1). W przypadku natomiast mapy akustycznej o rozkładzie poziomów hałasu decyduje również zagospodarowanie strefy najścia i migracji (ryc. 6.2).

Poszczególne problemy dotyczące określania poziomu hałasu w danym przekroju pomiarowym, np. w strefie migracji czy najścia, zostały szerzej opisane w rozdz. 6.5–6.8. Natomiast problem rzeczywistego klimatu akustycznego, zróżnicowanego również w zależności od zagospodarowania najbliższego otoczenia przejścia oraz strefy najścia i migracji, omówiono w rozdz. 6.9 i 6.10.



Ryc. 6.1. Schemat czynników wpływających determinująco na poziom hałasu w danym punkcie pomiarowym



Ryc. 6.2. Schemat czynników wpływających determinująco na rzeczywisty klimat akustyczny

6.2. Założenia badawcze pomiarów poziomu hałasu

W przytoczonych w niniejszym rozdziale rezultatach badań autorka wykorzystwała miernik poziomu dźwięku klasy 1 SVAN 945A, firmy SVANTEK, zakupiony ze środków uzyskanych w ramach grantu promotorskiego Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Przyrząd ten spełnia wymagania norm krajowych i międzynarodowych (PN-79/T-06460, IEC651, IEC 804, IEC 61672-1) w odniesieniu do mierników poziomu dźwięku klasy 1 [146]. Miernik jest przeznaczony do pomiarów akustycznych w pomieszczeniach oraz na zewnątrz, a dzięki małym rozmiarom jest bardzo poręczny i łatwy w użyciu. Zastosowano w nim cyfrowy procesor sygnałowy, który umożliwia wykonanie pomiarów w pasmach oktawowych i tercjowych, wraz z analizą statystyczną [101].

W skład zestawu pomiarowego wchodzi przedwzmacniacz mikrofonowy SVANTEK SV11 oraz mikrofon G.R.A.S. 40 AN, który podczas pomiarów wykonywanych na zewnątrz okrywa się osłoną przeciwwietrzną SVANTEK SA 22. Zgodnie z instrukcją obsługi miernik przed każdym pomiarem należy kalibrować za pomocą kalibratora Sonopan KA – 50. W mierniku zakres pomiaru wynosi 22 dB(A) RMS ÷ 140 dB(A) Peak. W czasie pomiaru istnieje możliwość niezależnego ustawienia trzech profili, które mierzą poziom dźwięku z innymi filtrami i różną stałą czasową zdefiniowaną przez użytkownika.[101]. W każdym profilu istnieje możliwość pomiaru z innym filtrem korekcyjnym. Wszystkie wyniki pomiarów zostały odczytane za pomocą programu SvanPC ++ w wersji 1.1.8, udostępnionej przez producenta miernika na jego stronie internetowej [165]. Miernik dźwięku umożliwia także określenie wartości poziomów statystycznych wykonywanych pomiarów [146].

Podstawowe parametry SVAN 945A [101]:

- zakres częstotliwości mierzonego ciśnienia akustycznego: 1–20 000 Hz,
- zakres pomiarowy: 24–139 dB,
- błąd podstawowy pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego: < 0,7 dB,
- wielkości mierzone: Leq , $Lmax$, $Lmin$, PEAK, SPL, SEL, L.

Hałas generowany przez ruch drogowy jest hałasem zmieniającym się w czasie; można stwierdzić, że jest to średnia wartość poziomu dźwięku zmierzonego w czasie pomiaru. Jak już wyżej wspomniano, w celu odzwierciedlenia charakterystyki ludzkiego ucha podczas pomiarów wykorzystano krzywą korekcyjną A, a poziomy hałasu podano w dB(A). Parametrem, który dobrze charakteryzuje odbiór fali dźwiękowej przez ludzkie ucho, jest równoważny (ekwiwalentny) poziom dźwięku – $Leq(A)$ [160]. Jest to pojedyncza wartość stałego poziomu dźwięku podczas oddziaływania w takim samym czasie jak badany miernikiem poziom hałasu generowany przez ruch drogowy o zmiennym poziomie. Równoważny poziom dźwięku ma taką samą energię i takie samo potencjalne ryzyko uszkodzenia słuchu [146, 176].

Na górnych przejściach habitatowych wykonano po kilkadziesiąt pomiarów poziomu hałasu na każdym obiekcie. Każdy pomiar poziomu dźwięku trwał 2 minuty, dając w sumie 4800 cząstkowych pomiarów poziomu dźwięku. Równoległe z badaniami poziomu hałasu były wykonywane pomiary natężenia ruchu, wraz ze strukturą rodzajową i kierunkową, intensywności ruchu oraz prędkości na jezdniach autostrady.

W badaniach założono, że będą analizowane dwa główne parametry poziomu hałasu, a mianowicie Leq oraz $Lmax$. Leq (Level Equivalent) jest wartością uśrednioną z całego dwuminutowego pomiaru, $Lmax$ odpowiada największej wartości zanotowanej podczas dwuminutowego pomiaru.

W badaniach porównawczych poziomu hałasu wszystkie dwuminutowe pomiary powinno się wykonywać przy tym samym natężeniu ruchu (intensywności ruchu) w celu wiarygodnego ich oszacowania. Uwzględniając powyższe, pomiary poziomu hałasu na górnych przejściach habitatowych skorelowano równocześnie z pomiarami intensywności ruchu, zakładając z góry eliminację wyników pomiarów poziomu hałasu podczas przejazdu tylko samochodów osobowych. W czasie pomiaru równoczesną komunikację między obserwatorami zapewniono, wykorzystując krótkofalówki. Wykonanie badań poziomu dźwięku na każdym z obiektów trwało ok. dwóch godzin, w czasie których prowadzono równoległe pomiary natężenia ruchu, rejestrując dodatkowo ruch na autostradzie kamerą video.

Wszystkie analizowane pomiary poziomu hałasu wykonano podczas przejazdu przynajmniej jednego pojazdu ciężkiego. Wyżej wymienione założenia badawcze gwarantowały, że w czasie przejazdu pojazdu ciężkiego zostanie odnotowana chwilowa wartość poziomu głośności, który odpowiada wartości $Lmax$.

Poziom równoważny Leq podaje skuteczną wartość ciśnienia akustycznego w określonym czasie. Urządzenie SVAN 945a oblicza wartość Leq wg zależności (6.1) [101]:

$$Leq = 20 \log \left(\frac{1}{T_C} \int_0^{T_C} (p_w(t) / p_0)^2 dt \right)^{1/2} \quad (6.1)$$

gdzie: T_C – bieżący czas pomiaru,

p_w – bieżąca wartość szczytowa dźwięku z filtrem korekcyjnym, którą oblicza się z zależności [101]:

$$p_w(t) = \left(\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t a_w^2(t_x) \exp\left(\frac{t_x - t}{\tau}\right) dt_x \right)^{1/2} \quad (6.2)$$

gdzie: t_x – czas (zmienna całkowania),

p_0 – wartość odniesienia równa 20 μ Pa.

Uwzględniając wspomniane wyżej różne pasma oraz zakresy słyszalności u ludzi i zwierząt, w analizach przytoczonych poniżej uwzględniano głównie dystrybuanty poziomu hałasu, odzwierciedlające bardziej wiarygodnie rzeczywiste warunki głośności w miejscach bytowania zwierząt. Analizy dystrybuant umożliwiły bowiem ocenę chwilowej głośności mogącej mieć znaczny wpływ na płoszenie zwierząt znajdujących się w pobliżu obiektu lub na jego powierzchni.

Drugi natomiast parametr – L_{max} stanowi maksymalny wynik na wyjściu detektora, który został zdefiniowany zgodnie z normą ISO 2632–1 i który jest wyliczany ze wzoru (6.3) [101]:

$$L_{max} = 20 \log(\max_{T_C}(p_w(t)/p_0)) \quad (6.3)$$

gdzie: T_C – bieżący czas pomiaru,

p_w – bieżąca wartość szczytowa dźwięku z filtrem korekcyjnym w, obliczana z zależności (6.2).

Z obiektów habitatowych do analiz oceniających wpływ zastosowanych elementów zagospodarowania terenu na poziom hałasu wybrano przejścia górne wybudowane kilkanaście lat temu nad autostradą A20 w Niemczech. Na wybranych do badań obiektach w czasie corocznych wizyt terenowych naocznie potwierdzano ich dobrą funkcjonalność, gdyż wielokrotnie spotykano na nich sarny, daniele, zające i jeże, a także znajdowano tropy i ślady innych zwierząt.

6.3. Interpretacja wykresów dotyczących poziomu hałasu drogowego

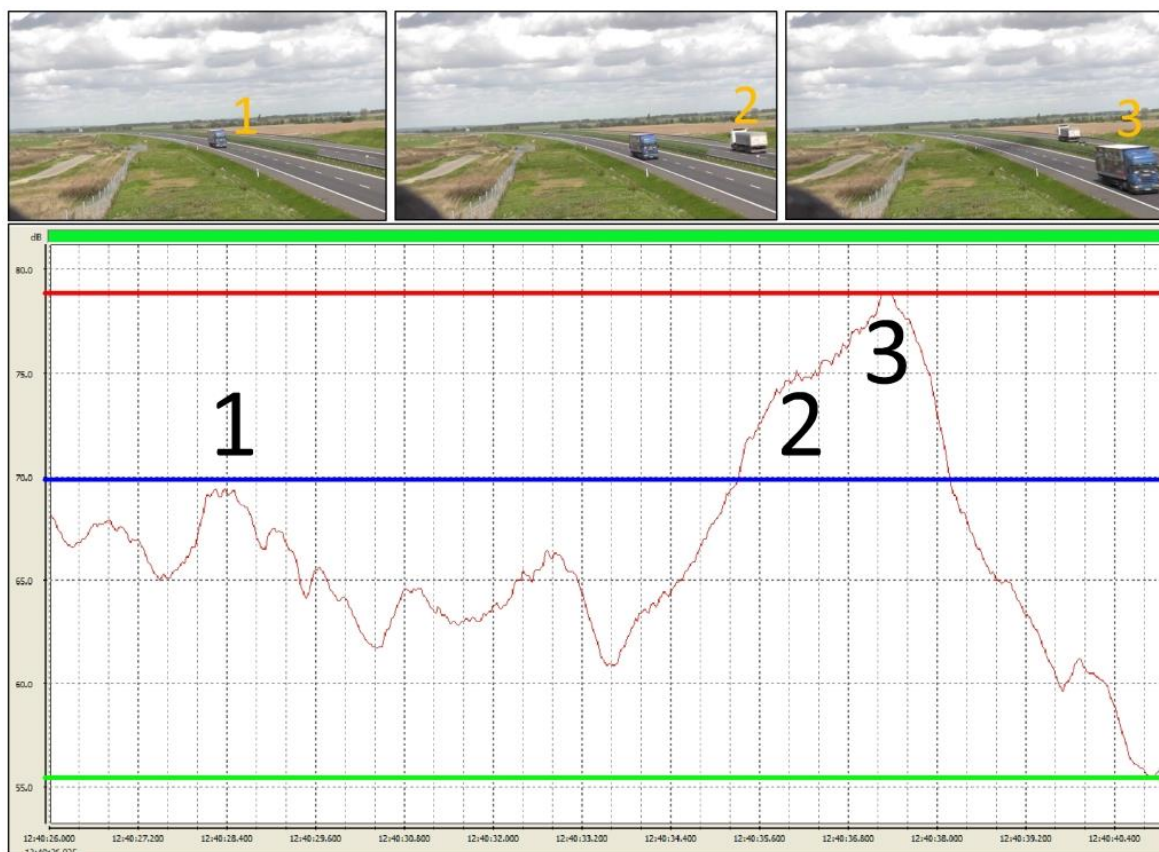
Poziom hałasu drogowego nie podlega dodawaniu, co oznacza, że chcąc ocenić poziom hałasu drogowego, jaki powoduje przejazd np. dwóch samochodów osobowych, w odniesieniu do poziomu hałasu, jaki generuje przejazd pojedynczego pojazdu, obu poziomów się nie dodaje. W celu przybliżenia tego zagadnienia na przejściu habitatowym wykonano pomiary w ciągu 15 sekund i równocześnie nagrano film kamerą video, chcąc uchwycić zmiany poziomu hałasu na wykresie generowanym automatycznie przez urządzenie pomiarowe.

Pierwsza interpretacja odnotowanych przez urządzenie pomiarowe poziomów hałasu dotyczy przejazdu pod obiektem samochodu osobowego (ryc. 6.3). Całość nagrania filmu i pomiar urządzeniem poziomu hałasu trwały 15 sekund. Pierwsze maksimum na wykresie odpowiada pomiarowi poziomu hałasu, gdy samochód osobowy zbliżył się dostatecznie blisko do urządzenia pomiarowego (73,2 dB(A)). Drugie maksimum odpowiada chwili, gdy samochód osobowy wjeżdżał pod obiekt (73,8 dB(A)). Trzeci punkt maksimum na wykresie odpowiada chwili, gdy spod obiektu wyjeżdżał inny samochód osobowy, jadący w przeciwnym kierunku (73,9 dB(A)).

Poziome linie na wykresie oznaczają wartości odczytane z programu komputerowego SvanPC ++, w wersji 1.1.8 [165]. Czerwona linia na wykresie, przedstawionym na ryc. 6.1, wskazuje odczytany wynik L_{max} , niebieska linia – poziom L_{eq} , a zielona linia – poziom L_{min} . Dodatkowo pod wykresem zestawiono wszystkie wymienione wyżej wartości poziomu hałasu.

Drugi przykład dotyczy przejazdu ciągnika siodłowego (ryc. 6.4). Całość nagrania filmu i zapis poziomu hałasu trwały, podobnie jak poprzednio, 15 sekund. W tym przykładzie chodziło przede wszystkim o pokazanie różnicy poziomów hałasu drogowego generowanego przez przejazd samochodu osobowego i ciągnika siodłowego. Pierwsze maksimum na wykresie (ryc. 6.4) odpowiada pomiarowi poziomu hałasu, gdy ciągnik siodłowy zbliżył się dostatecznie blisko do urządzenia pomiarowego (69,5 dB(A)). Drugie maksimum odpowiada chwili, gdy analizowany ciągnik siodłowy zbliżał się do obiektu, a spod obiektu na drugiej jezdni w przeciwnym kierunku wyjeżdżał inny ciągnik siodłowy (75,1 dB(A)). Oba ciągniki siodłowe w analizowanym momencie znajdowały się w tym samym przekroju poprzecznym. Trzeci punkt maksimum na wykresie odpowiada chwili, gdy analizowany ciągnik siodłowy wjeżdżał pod obiekt (78,9 dB(A)). Był to

moment, w którym urządzenie pomiarowe jeszcze odnotowywało poziom hałasu ciągnika siodłowego na jezdni przeciwnego kierunku ruchu.

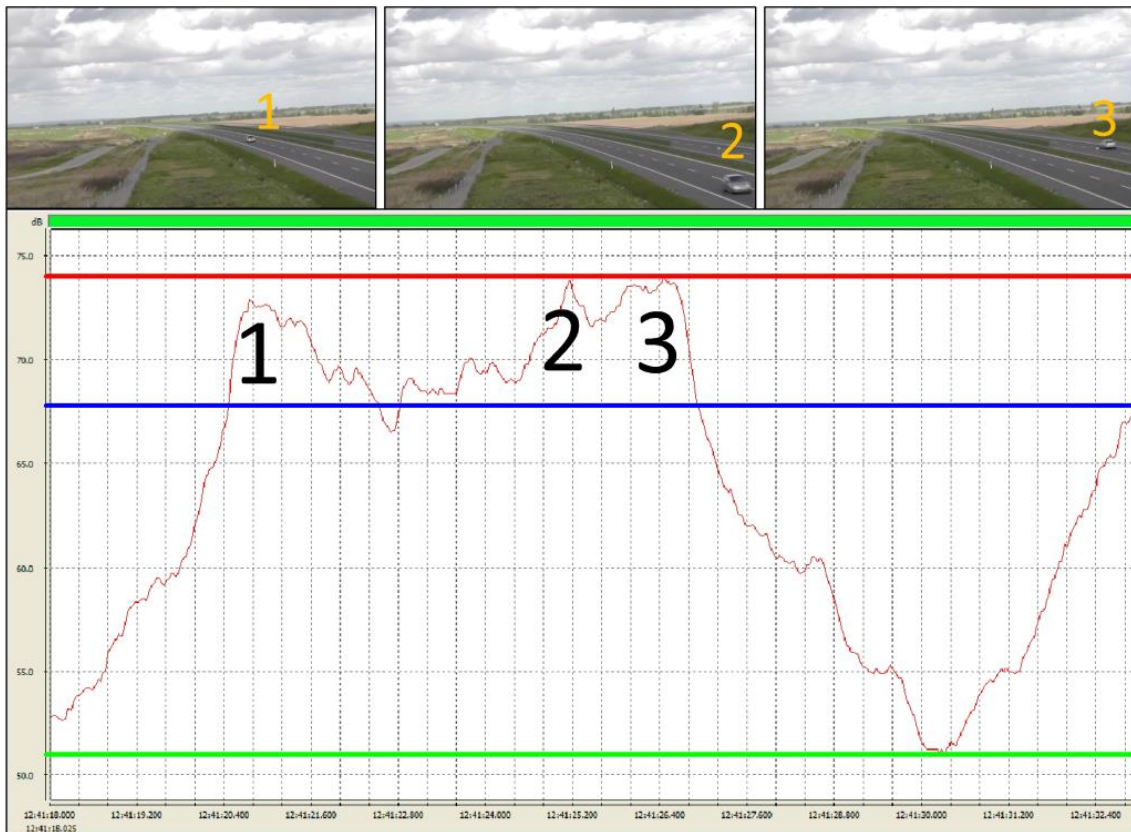


Ryc. 6.3. Skorelowanie danych na wykresie poziomu hałasu, zmierzonego w ciągu 15 minut, z przejazdem samochodu osobowego nagrany kamerą video w tym samym czasie

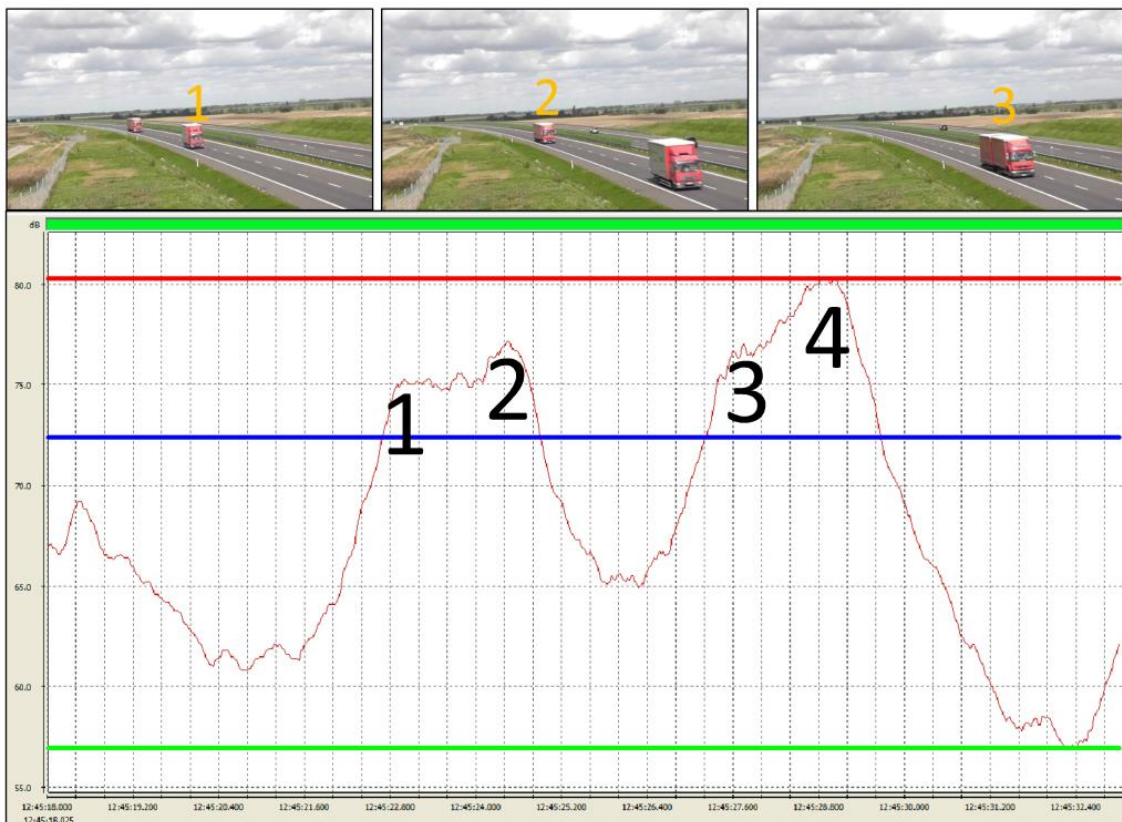
Podobnie jak na ryc. 6.3, poziome linie na wykresie przedstawionym na ryc. 6.4 oznaczają wartości odczytane z programu komputerowego SvanPC ++, w wersji 1.1.8 [165].

Trzeci i ostatni przykład dotyczy nagrania przejazdu dwóch ciągników siodłowych (ryc. 6.5). Pierwsze maksimum na wykresie (ryc. 6.5) odpowiada pomiarowi poziomu hałasu, gdy pierwszy ciągnik siodłowy zbliżył się dostatecznie blisko do urządzenia pomiarowego (75,0 dB(A)). Drugie maksimum odpowiada chwili, gdy drugi ciągnik siodłowy zbliżył się dostatecznie blisko do urządzenia pomiarowego (77,1 dB(A)). Trzeci punkt maksimum na wykresie odpowiada chwili, gdy pierwszy ciągnik siodłowy wjechał pod obiekt (77,0 dB(A)). W tym momencie spod obiektu słychać było pogłos od przejazdu pierwszego ciągnika, a tymczasem drugi ciągnik siodłowy wjeżdżał pod obiekt (80,3 dB(A)). Podobnie jak w poprzednich przypadkach, poziome linie na wykresie oznaczają wartości odczytane z programu komputerowego SvanPC ++, w wersji 1.1.8 [165].

Analiza danych przedstawionych na ryc. 6.3, 6.4 i 6.5 wykazała, że poziom hałasu jest zagadnieniem bardzo złożonym i niejednorodnym. Uwzględniając powyższe i fakt, że nie ma określonych dopuszczalnych poziomów hałasu drogowego na obiektach habitatowych, w dalszej części rozdziału przedstawiono zmierzone poziomy hałasu drogowego w postaci dystrybuant. Można na tej podstawie wyrobić sobie pogląd o poszczególnych wartościach kwantyli poziomu hałasu i ich zmianach w różnych miejscach pomiarowych.



Ryc. 6.4. Skorelowanie danych na wykresie poziomu hałasu, zmierzonego w ciągu 15 minut, z przejazdem ciągnika siodłowego nagrany kamerą video w tym samym czasie



Ryc. 6.5. Skorelowanie danych na wykresie poziomu hałasu, zmierzonego w ciągu 15 minut, z przejazdem dwóch ciągników siodłowych nagrany kamerą video w tym samym czasie

Uwzględniając specyfikę poruszanych problemów hałasu drogowego, w tab. 6.1 przedstawiono w celach porównawczych zakresy słyszalności człowieka i wybranych zwierząt.

Tab. 6.1. Zakresy słyszalności ludzi i różnych gatunków zwierząt [Hz]

	Zakresy słyszalności	
	minimalne	maksymalne
Człowiek	16	20 000
Człowiek w późnej starości	16	5000
Psy i koty	15	50 000
Sowa	5000	
Sarna		21 000
Mysz		30 000
Nietoperz	8	100 000
Ssaki	10	150 000
Ptaki	100	10 000
Gady	50	2000
Płazy	100	2000

Źródło: [11, 22, 73. 185].

Biorąc pod uwagę powyższe znaczne różnice w zakresach słyszalności zwierząt, w dalszej części rozdziału wszystkie analizy przeprowadzono w odniesieniu do dystrybuant poziomów hałasu. Dodatkowo w kilku przypadkach przedstawiono również, w celach porównawczych i dla wygodniejszej interpretacji zjawiska hałasu, wykresy udziału procentowego danego zakresu poziomu hałasu, zmierzonego w danym punkcie pomiarowym.

6.4. Prawdopodobne determinanty rozkładu hałasu drogowego na przejściu górnym

Jak już wyżej wspomniano, na rozkład poziomy hałasu ma wpływ wiele czynników natury ogólnej (ryc. 6.1 i 6.2), jak również zagospodarowanie najbliższego otoczenia przejścia. W tab. 6.2 zestawiono prawdopodobne determinanty brane pod uwagę przy prognozowaniu poziomu hałasu i klimatu akustycznego na przejściu górnym, a także faktyczne determinanty zidentyfikowane przy szczegółowych pomiarach wykonanych w wielu punktach pomiarowych na badanych obiektach.

Powyższe determinanty zidentyfikowano na podstawie rezultatów wykonanych badań. W zależności od czynników ogólnych za pomocą programów komputerowych opracowujących mapy akustyczne można przewidzieć, jaki będzie prognozowany klimat na projektowanym przejściu, jednak ostateczny rzeczywisty klimat akustyczny zależy również w bardzo istotnym stopniu od wielu czynników zastosowanych w strefie dojścia, najścia i migracji (ryc. 6.2). W zależności od rodzaju danego zagospodarowania terenu i wielu innych elementów, wymienionych w tab. 6.2, można w danym punkcie pomiarowym osiągnąć znaczne zmniejszenie poziomu hałasu drogowego, przy tych samych czynnikach ogólnych. Szczegółowo ten problem opisano w rozdz. 6.9 i 6.10.

Tab. 6.2. Prawdopodobne determinanty mające wpływ na poziom hałasu drogowego na terenie przejścia górnego

Determinanty		Droga wytyczona na poziomie otaczającego terenu w przestrzeni otwartej	Droga w wykopie			
			na terenie rolniczym w przestrzeni otwartej	na terenie rolniczym o dużej deniwelacji	przy jednostronnym kompleksie leśnym	w niewielkim kompleksie leśnym (wykop do 7 m)
Wpływ czynników ogólnych na poziom hałasu drogowego w danym punkcie pomiarowym						
Natężenie ruchu i jego struktura rodzajowa ^a		X	X	X	X	X
Konfiguracja terenu i lokalizacja drogi ^b		X	X	X	X	X
Trasa drogi w linii prostej lub w łuku poziomym ^c		X	X	X	X	X
Rodzaj zagospodarowania otoczenia drogi w najbliższej okolicy przejścia górnego ^d	teren otwarty rolniczy	X	X	X	X	nie dotyczy
	pojedyncze zagajniki	nie dotyczy	nie dotyczy	X	X	nie dotyczy
	kompleks leśny	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	X	X
Wpływ zastosowanego elementu zagospodarowania terenu na zmniejszenie poziomu hałasu						
Zagospodarowanie strefy dojścia	zielenią	słaby	X	X	X	słaby
	wysokimi i szerokimi wałami ziemnymi	X	X	X	X	X
Zagospodarowanie zielenią skarp wykopu w najbliższym otoczeniu przejścia		nie dotyczy	X	X	X	X
Bogate zagospodarowanie skarp przyczółków zróżnicowanymi krzewami		X	X	X	X	X
Uformowane wały ziemne w strefie naprowadzająco-osłonowej		X	X	X	X	X
Rodzaj, wysokość i długość ekranu		X	X	X	X	X
Przy ekranie betonowym uformowane wały ziemne, od strony przejścia, w strefie najścia i migracji		X	X	X	X	X
Przy ekranie drewnianym nieregularne wały ziemne i niewielkie zagajniki		X	X	X	X	X
Rodzaje nasadzeń krzewów w strefie naprowadzająco-osłonowej i w strefie migracji	te same rodzaje krzewów na całej długości	słaby	słaby	słaby	słaby	słaby
	zróżnicowane rodzajowo i wysokościowo nasadzenia	X	X	X	X	X

^a Im większe natężenie ruchu, tym większe wartości poziomu hałasu w danym miejscu pomiarowym. Przy tym samym natężeniu ruchu im większy jest udział procentowy pojazdów ciężkich, tym wyższy jest poziom hałasu drogowego zmierzony w tym samym miejscu pomiarowym.

^b Im bardziej zróżnicowany jest wysokościowo teren w strefie buforowej i najbliższym otoczeniu przejścia, tym mniejsze mogą być poziomy hałasu drogowego. Im wyżej, w stosunku do poziomu przejścia, znajduje się najbliższe wzgórze, tym wyższy jest na przejściu poziom hałasu drogowego.

^c W zależności od krzywizny drogi po wewnętrznej stronie łuku poziomego mogą być odnotowane wyższe poziomy hałasu drogowego niż po stronie zewnętrznej łuku poziomego w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w tej samej odległości od drogi.

^d Na terenach otwartych rolniczych poziom hałasu drogowego jest zawsze większy niż w kompleksie leśnym w tej samej odległości od drogi.

Oznaczenia: X – ma wpływ i to zasadniczy, słaby – wykazuje mały wpływ na wyciszenie, nie dotyczy – nie spełnia jakiegoś założenia.

6.5. Wpływ wałów ziemnych uformowanych na dojściu do przejścia na poziom hałasu

Jedną z najtańszych i naturalnych osłon przed hałasem drogowym są wały ziemne. Na wielu przejściach górnych wybudowanych w Niemczech na dojściu do obiektu są usypane wały ziemne z gruntu wydobytego z wykopu (ryc. 6.6) [204, 205, 207, 211]. Prawie we wszystkich analizowanych w niniejszej monografii przypadkach przejść górnych autostradę w okolicy przejścia habitatowego zlokalizowano w wykopie.



Ryc. 6.6. Wał ziemny uformowany na dojściu do przejścia Starkshof
Źródło: fot. Radosław Madej [129].

Do badań wpływu wałów ziemnych na rozkład poziomego hałasu wybrano przejście, przed którym w strefie dojścia uformowany jest wał ziemny z gruntu uzyskanego z wykopu, w którym usytuowana jest autostrada. Na dojściu do obiektu na długości ok. 270 i 110 m wybudowane są dwa kolejne wały ziemne – pierwszy o wysokości ok. 3–4 m, drugi o wysokości do 1,5 m. Od strony jezdni autostrady na skarpach obu wałów ziemnych posadzono wiele krzewów liściastych o rozłożystych kształtach. Największe zagęszczenie krzewów zaobserwowano bezpośrednio przy przyczółku obiektu, tj. na przyległych do niego skarpach [202, 203].

W analizowanym przypadku wykonano sześć pomiarów poziomego hałasu (ryc. 6.7). W celach porównawczych przy jezdni, w odległości ok. 40 m od wału ziemnego, wykonano w tym samym miejscu dwa pomiary poziomego hałasu, przy godzinowym natężeniu ruchu równym 900 P/h (ST1) i udziale procentowym ruchu ciężkiego $u_c = 6\%$ oraz przy godzinowym natężeniu ruchu równym 800 P/h (ST1) i udziale procentowym ruchu ciężkiego $u_c = 12\%$.

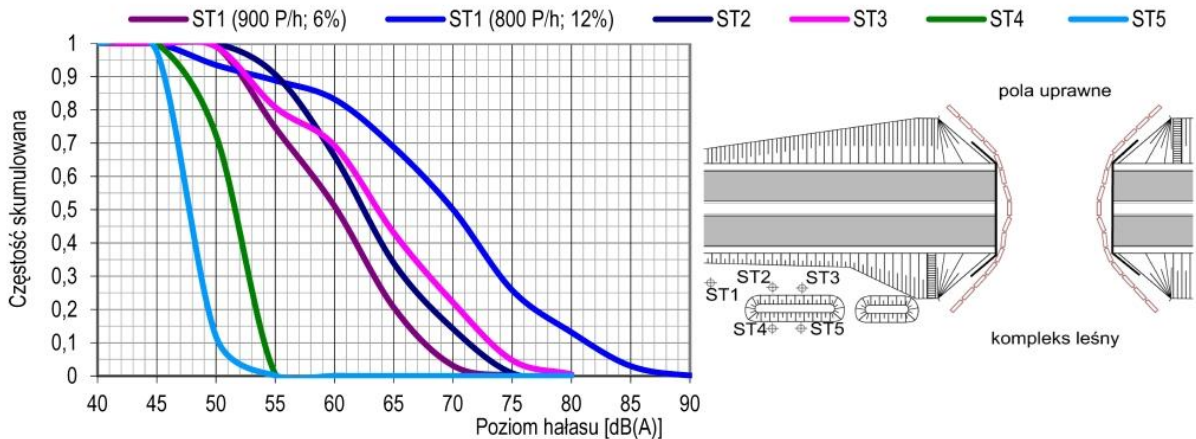
Analiza przebiegu dystrybuant poziomu hałasu przedstawionych na ryc. 6.8 wykazała, że duże, wysokie i szerokie wały ziemne (ryc. 6.6), wybudowane pomiędzy autostradą a pobliskim lasem, mogą zmniejszyć poziom hałasu średnio o kilkanaście dB(A), a w niektórych zakresach więcej. W sumie na ryc. 6.8 przedstawiono cztery dystrybuanty poziomu hałasu będące rezultatem pomiaru od strony jezdni autostrady (ST1x2, ST2 i ST3). W jednym przypadku w czasie pomiaru przejechał tylko jeden pojazd ciężarowy, a w innym przypadku przejechało ich kilkanaście.

Mimo znacznej różnicy pomiędzy poziomami hałasu w punktach pomiarowych, zlokalizowanych bezpośrednio przy jezdni (ST1) lub przy jezdni, ale przed wałem (ST2 i ST3), a poziomem hałasu zmierzonym od strony lasu (ST4 i ST5) potwierdzono znaczną efektywność jego redukcji dzięki wałom ziemnym i nasadzeniom rozłożystych krzewów liściastych zastosowanych na ich skarpach. Średnio wał zmniejszał poziom hałasu o ok. 10 dB(A), w zależności przede wszystkim od intensywności ruchu odnotowanego w momencie pomiaru i gęstości krzewów posadzonych z obu stron wału. Stwierdzono również, że nieregularne posadzenie krzewów, zróżnicowanych gatunkowo i wysokościowo, dodatkowo wpływa istotnie na przerwanie fali dźwiękowej oraz zmniejszenie poziomu hałasu mierzonego w punktach ST4 i ST5 od strony lasu.



Ryc. 6.7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na długości dłuższego wału ziemnego; linią przerywaną oznaczono granice wałów ziemnych

Źródło: tło stanowi zdjęcie satelitarne terenu na dojściu do obiektu z Google Earth [163].



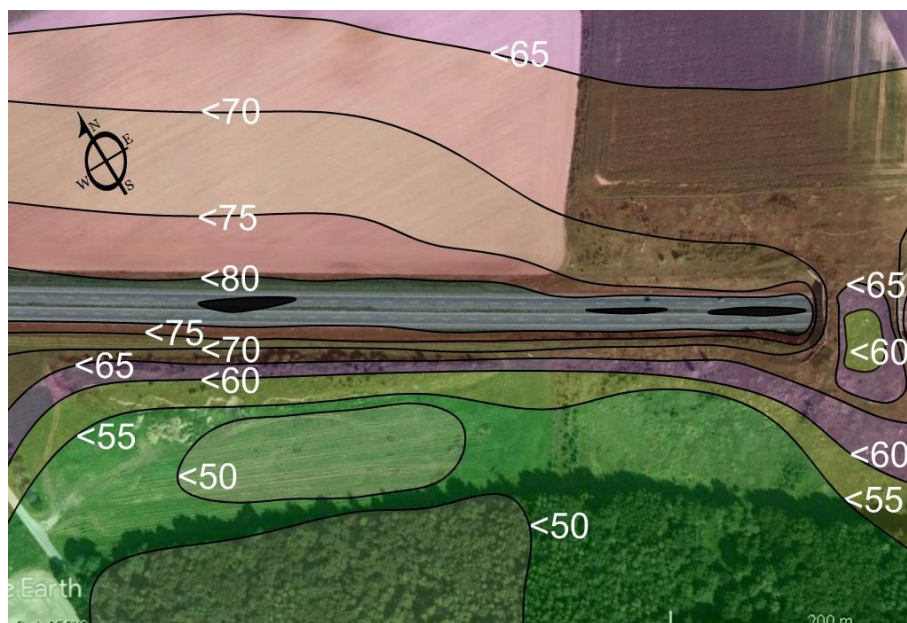
Ryc. 6.8. Dystrybuanty poziomu hałasu na dojściu do przejścia habitatowego; w legendzie przy ST1 w nawiasach podano wartości godzinowego natężenia ruchu (w P/h) i udziału procentowego ruchu ciężkiego u_c (w %)

Skuteczność wpływu budowy wałów ziemnych na warunki środowiskowe na terenach płaskich i falistych przy przejściach habitatowych potwierdza nie tylko ww. przytoczony rozkład dystrybuant poziomu hałasu. Podczas prowadzenia badań stwierdzono także znacznie mniejszy poziom stężenia spalin przed wałami ziemnymi na dojściu do obiektu, co dało się odczuć fizycznie w trakcie długotrwałych kilkugodzinnych pomiarów [202, 203, 209, 210]. Podczas kilku wizyt terenowych i kilkugodzinnych badań spotykano również po kilkanaście osobników różnorodnych zwierząt, co także może być potwierdzeniem efektywności danego przejścia dzięki budowie wałów ziemnych na dojściu do obiektu i uzyskaniu dobrego mikroklimatu na terenie przeznaczonym dla zwierząt [204, 210, 211].

Na ryc. 6.9 przedstawiono mapę akustyczną otrzymaną na podstawie wykonanych pomiarów i programu komputerowego służącego do opracowywania map akustycznych. Analiza rozkładu izolinii wykazuje, że las istotnie oddziałuje na poziom hałasu, ale również to, że uformowane wały ziemne mają zasadnicze znaczenie w wyciszeniu strefy dojścia do przejścia. Gdyby po wschodniej stronie przejścia także uformowano wały ziemne, prawdopodobnie poziom hałasu w strefie migracji byłby jeszcze mniejszy.

Na wałach ziemnych w większości przypadków rosły krzewy liściaste, odgradzające dojście zwierząt do obiektu od powietrza wokół autostrady, przesyconego pyłem, kurzem i spalinami. Drzewa i krzewy pokryte gładkimi liśćmi pochłaniają ok. 85% osiadających na nich drobin kurzu i spalin, a w stanie bezliśnym – do

60%. Szkodliwe substancje nie zalegają na gładkich liściach i nie wnikają w głąb roślin, lecz są łatwo splukiwane przez deszcz. Spośród kilkunastoletnich krzewów, posadzonych na skarpach wałów ziemnych od strony jezdni autostrady, najbardziej odporne na spaliny, zanieczyszczenia i kurz okazały się krzewy bzu czarnego (*Sambucus nigra*), leszczyny (*Corylus avellana*) i trzmieliny pospolitej (*Euonymus*). [209]



Ryc. 6.9. Rozkład poziomy hałasu z uwzględnieniem dwóch wałów ziemnych uformowanych na dojeździe do przejścia, po południowej stronie autostrady. Wartości hałasu na izofonach podano w dB(A)
 Źródło: tło mapy akustycznej stanowi zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

Biorąc pod uwagę to, że po 7–8 latach od posadzenia na skarpach krzewy dzikiej róży (*Rosa canina*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*) usychały (ryc. 6.10), można polecać nasadzenia na skarpach od strony jezdni z bzu czarnego (*Sambucus nigra*), leszczyny (*Corylus avellana*) i trzmieliny pospolitej (*Euonymus*), gdyż one w trakcie kilkunastu lat obserwacji nie usychały, a nawet coraz obficie się rozwijały (ryc. 6.11) [209, 210, 211, 212].



Ryc. 6.10. Uschnięte krzewy dzikiej róży rosnące na skarpach przyczółków



Ryc. 6.11. Bogato owocujący krzew bzu czarnego posadzony przy wale ziemnym, od strony jezdni autostrady

6.6. Wpływ ekranów betonowych i wałów ziemnych z różnymi nasadzeniami na poziom hałasu na powierzchni przejścia zespolonego

Na przejściach górnych jednym z najważniejszych elementów jest ekran. Ważne są jego konstrukcja, rodzaj zastosowanego materiału i przede wszystkim jego wysokość. Wytyczne projektowania zagraniczne [42] i krajowe [121] jedynie wskazują, że ekran powinien pełnić dwie zasadnicze funkcje – przeciwhałasową i przeciwosłnieniową. W wytycznych [42] wspomina się również, że ekrany są zalecane do stosowania na mostach zielonych i że ich wysokość zależy od rodzaju migrujących zwierząt; dla zwierząt dużych powinny być wyższe, a w przypadku zwierząt małych ich wysokość nie powinna stwarzać efektu tunelu, czyli powinna być mniejsza. Początkowo na górnych przejściach dla zwierząt budowano z reguły ekrany z płyt betonowych (ryc. 6.12), później zaczęto budować ekrany drewniane, gdyż były one bardziej naturalne [204, 205, 211].

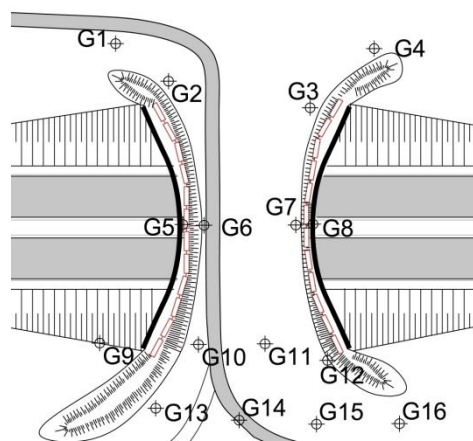
Typowy ekran zastosowany na moście zielonym powinien mieć ok. 3 m wysokości. Uwzględniając rozkład fali dźwiękowej wokół autostrady, najwyższy poziom hałasu odnotowano przy jezdni, na dolnym poziomie, i bezpośrednio na obiekcie, za ekranem od strony autostrady nad obiema jezdniami, z kulminacją nad pasem dzielącym. Chcąc uzyskać jak najlepsze warunki naturalne, na powierzchni przejścia górnego stosuje się, wzdłuż ekranów od strony przejścia, nieregularne wały ziemne i nasadzenia różnorodnych krzewów, bardziej lub mniej skupione. Przy ekranach betonowych dodatkową rolę zarówno wałów, jak i krzewów jest zasłonięcie widoku betonowego ekranu od strony przejścia (ryc. 6.12) w celu osiągnięcia jak najbardziej naturalnych warunków środowiskowych.

W celu określenia wpływu ekranu na rozkład poziomu hałasu autorka wykonała pomiary poziomu hałasu w kilkunastu punktach pomiarowych. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na terenie przejścia, z ekranem betonowym i niskimi wałami ziemnymi, obsadzonymi różnorodnymi krzewami, przedstawiono na ryc. 6.13.

Otrzymany rozkład poziomu hałasu na powierzchni obiektu był bardzo zróżnicowany (ryc. 6.14). Za ekranem betonowym (tj. od strony autostrady), nad pasem dzielącym obie jezdnie autostrady, odnotowano najwyższy poziom hałasu (ryc. 6.14 – dystrybuanty G5 i G8), przy godzinowym natężeniu ruchu na autostradzie wynoszącym ponad 2 500 P/h i udziale procentowym pojazdów ciężkich wynoszącym 7%.



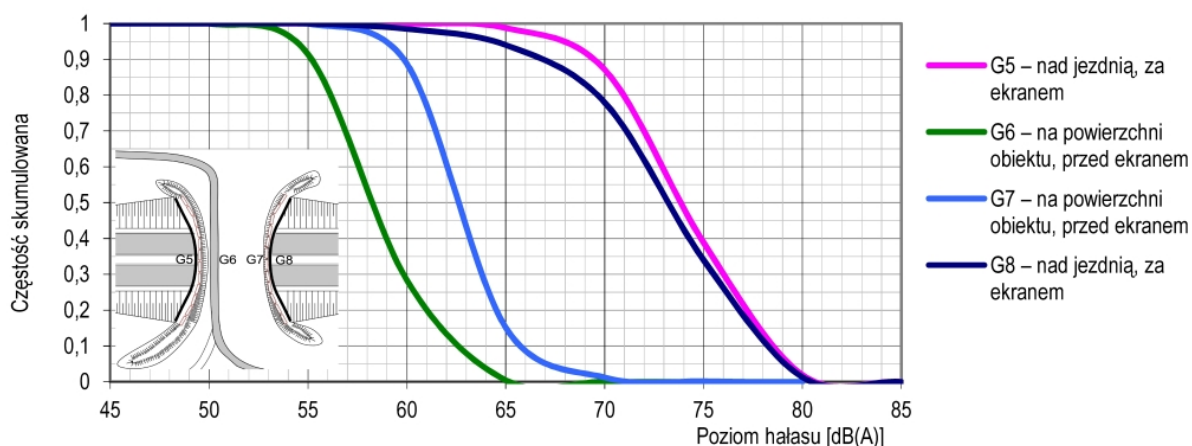
Ryc. 6.12. Widok na powierzchnię górnego przejścia i ekrany betonowe



Ryc. 6.13. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na terenie obiektu z ekranem betonowym

Przed ekranem na powierzchni górnego przejścia odnotowano niższe poziomy hałasu (dystrybuanta G6), bezpośrednio przy zastosowanym niewielkim wale ziemnym, o wysokości do 1 m, i licznych nasadzeniach gęstych i wysokich (niekiedy wynoszących ponad 3 m). Wśród posadzonych krzewów wyróżnić można m.in.: śliwę tarninę (*Prunus spinosa*), głóg dwuszyjkowy (*Crataegus laevigata*), kalinę koralową (*Viburnum opulus*)

i leszczynę (*Corylus avellana*). Dodatkowo obszary pomiędzy nimi uzupełniono krzewami porzeczki alpejskiej (*Ribes alpinum*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*).



Ryc. 6.14. Dystrybuanty poziomu hałasu zmierzonego w poprzek przejścia w osi autostrady (ekrany betonowe)

Nieznacznie wyższe poziomy hałasu odnotowano po drugiej stronie przejścia górnego (ryc. 6.14 – dystrybuanta G7). W tym miejscu, przed ekranem na powierzchni przejścia górnego, wał ziemny był znacznie niższy (0,3 – 0,5 m); krzewy nie wyrosły gęsto i wysoko – sięgały do wysokości 1,5 m i były bardzo rzadkie (ryc. 6.15). Prawdopodobnie ten czynnik wpłynął determinująco na nieco wyższe poziomy hałasu, zmierzone na powierzchni przejścia zespolonego.

Reasumując analizę danych przedstawionych na ryc. 6.14, należy stwierdzić, że przy ekranie betonowym i niewielkim wał ziemnym (o wysokości 0,3–0,5 m), z rzadko posadzonymi krzewami (o wysokości do 1,5 m), wyciszenie poziomu hałasu w strefie migracji wynosi ok. 10 dB(A). Natomiast przy ekranie betonowym, z wałem ziemnym (o wysokości ok. 1 m) i z gęsto posadzonymi różnorodnymi gatunkami krzewów (o wysokości ok. 3 m), wyciszenie poziomu hałasu w strefie migracji sięga ok. 15 dB(A) i więcej w prawie wszystkich analizowanych kwantylach. Potwierdzono tym samym efektywność zastosowanego ekranu betonowego na przejściach górnych dla zwierząt. Istotne również okazało się stosowanie wałów ziemnych przy ekranie betonowym, od strony przejścia, i obsadzanie ich różnorodnymi pod względem gatunku i wysokości krzewami, co skutecznie przyczyniło się zmniejszenia poziomu hałasu drogowego na powierzchni przejścia.

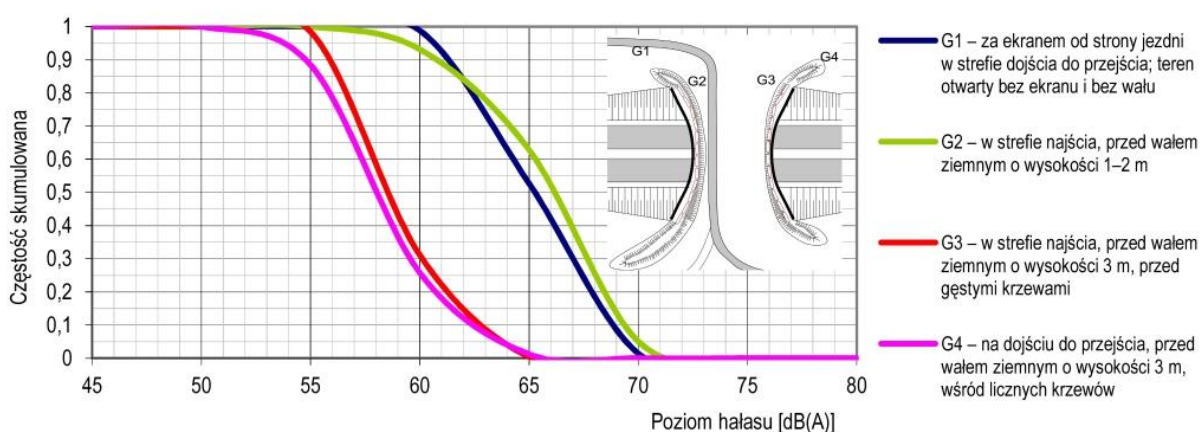


Ryc. 6.15. Ekran betonowy i wał ziemny (o wysokości 0,5 m) obsadzony rzadko krzewami (o wysokości do 1,5 m)

Drugim nie mniej ważnym aspektem w analizie poziomu hałasu drogowego był jego rozkład w strefie najścia. Na ryc. 6.16 przedstawiono rozkład poziomów hałasu zmierzonych w poprzek obiektu, w strefie najścia, od strony mocno pofałdowanego terenu, dokładnie na końcu ekranu betonowego, przyczółku i skarpy wykopu. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na ryc. 6.13. Na rozkład ten duży

wpływ miał bardzo pofałdowany teren po zachodniej stronie przejścia, wokół dużego zbiornika retencyjnego. Skarpy zbiornika są jedynie obsiane trawą. Pogłos spod płyty obiektu i hałas drogowy od strony autostrady w tym miejscu się kumulują, co zwiększa hałas. Ze względu na krzywiznę lokalnej drogi wał ziemny, uformowany na przedłużeniu ekranu, jest bardzo krótki i niski.

Najgłośniejszymi miejscami okazały się stanowiska zlokalizowane w strefie najścia i dościa od strony zachodniej, za końcem ekranu betonowego (ryc. 6.16 – dystrybuanty G1 i G2). Dystrybuanta G3 odnosi się do punktu pomiarowego zlokalizowanego po wschodniej stronie w strefie najścia na przejście zespolone, przed wałem ziemnym (o wysokości ok. 3 m) – ryc. 6.17, przed którym od strony najścia na przejście dodatkowo posadzono gęsto liczne krzewy rokitnika pospolitego (*Hippophae rhamnoides*), leszczyny (*Corylus avellana*) i głogu dwuszyjkowego (*Crataegus laevigata*). Dystrybuanta G4 odnosi się do pomiarów wykonanych nieco wcześniej w strefie dościa do przejścia od strony lasu, przed wałem ogradzającym strefę dościa od jezdni (ryc. 6.18).



Ryc. 6.16. Dystrybuanty poziomu hałasu w strefie dościa i najścia na przejściu górnie (ekrany betonowe wybudowane tylko pomiędzy przyczółkami i zakończone naprowadzającymi wałami ziemnymi)



Ryc. 6.17. Miejsce punktu pomiarowego G3 i gęste nasadzenia różnorodnych krzewów przed wałem



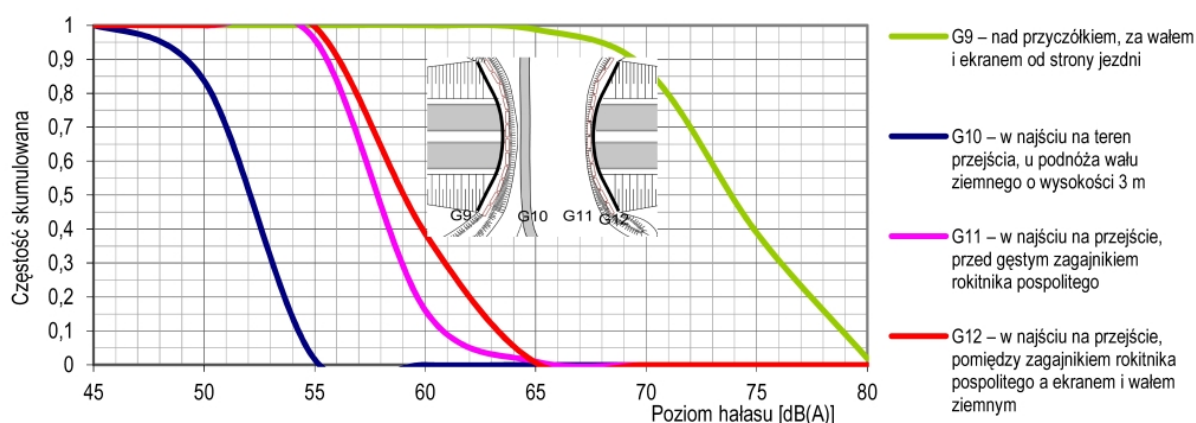
Ryc. 6.18. Wał ziemny na przedłużeniu ekranu, przed którym znajduje się punkt pomiarowy G4
Źródło: fot. Radosław Maron [134].

Dystrybuanta G1 odnosi się do punktu pomiarowego zlokalizowanego w strefie dościa od strony autostrady, gdzie niechroniony wałami i roślinnością teren jest bardziej podatny na oddziaływanie fali dźwiękowej. Natomiast dystrybuanta G2 dotyczy poziomu hałasu w strefie najścia na przejście zespolone, osłoniętej tylko krótkim wałem ziemnym, o wysokości 1,0–2,0 m, porośniętym jedynie trawą (ryc. 6.19).



Ryc. 6.19. Lokalizacja punktu G1 (w strefie dojścia do obiektu) i punktu G2 (za bardzo krótkim wałem ziemnym uformowanym na przedłużeniu ekranu)

W przeciwnej, południowej, strefie najścia wały ziemne są szczelnie połączone z ekranem i mają taką samą co on wysokość. Wał od strony zachodniej ma długość ok. 50 m i jest odgięty parabolicznie od osi podłużnej obiektu. Wał obsiany jest jedynie trawą. Po stronie przeciwnej, wschodniej, wał ziemny jest nieznacznie krótszy – ma ok. 45 m długości i również jest obsiany trawą. Skarpy przyczółku są bogato obsadzone rozłożystymi krzewami. A przed wałem, od strony przejścia, znajduje się rozległy zagajnik rokitnika pospolitego (*Hippophae rhamnoides*). Różnicowane warunki zagospodarowania terenu w strefie najścia od strony południowej w sposób istotny wpłynęły na rozkład poziomy hałasu (ryc. 6.20, 6.21).

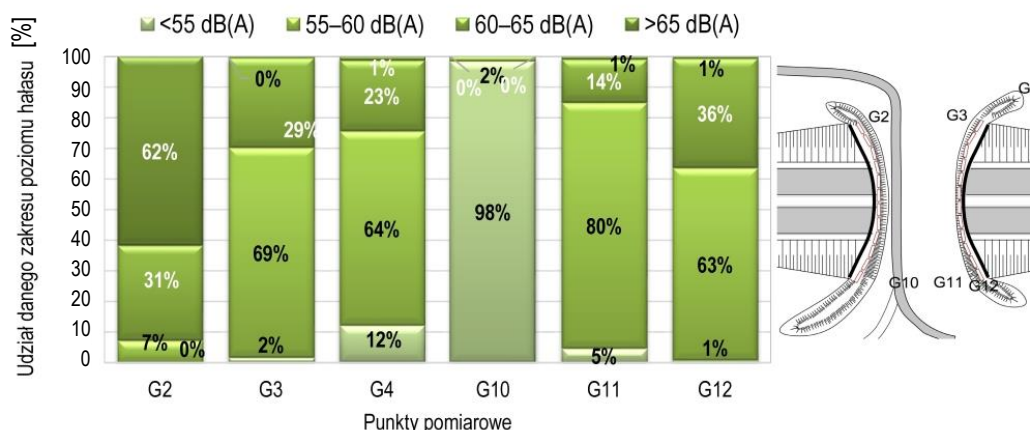


Ryc. 6.20. Dystrybuanty poziomu hałasu w strefie południowego najścia na przejście o znacznie zróżnicowanym zagospodarowaniu

Analiza udziałów procentowych danego zakresu hałasu, przedstawiona na ryc. 6.21, wykazała, że najbardziej wycisza teren najścia wał ziemny obsiany trawą w zachodnio-południowym rogu najścia (punkt G10 – 98% zmierzonych wartości cząstkowych hałasu było mniejszych od 55 dB(A)). Równie duży wpływ na redukcję hałasu miały także rozległe i gęste nasadzenia rokitnika pospolitego (*Hippophae rhamnoides*), gdyż w punkcie G11 85% zmierzonych wartości cząstkowych hałasu było mniejszych od 60 dB(A). Natomiast różnorodne krzewy posadzone w okolicy wałów ziemnych, w północno-wschodnim najściu, również wpłynęły na redukcję hałasu (punkt G3 i G4), jednak w znacznie mniejszym stopniu – 71–76% zmierzonych wartości było mniejszych od 60 dB(A). Najmniejszy wpływ na redukcję hałasu drogowego miał krótki wał ziemny od strony zbiornika retencyjnego, gdyż tylko 40% cząstkowych wartości hałasu było mniejszych od 60 dB(A).

Z analizy rozkładu wartości hałasu na terenie przejścia górnego wynika (ryc. 6.16, 6.20, 6.21), że „wyciszenie” zbliżone do naturalnych warunków środowiskowych można odnotować w tych miejscach, które

osłonięte są przez nieregularne wały ziemne o zróżnicowanej wysokości, wynoszącej ok. 3 m, oraz przez nasadzenia krzewów, które są typowe dla okolicy danego przejścia górnego.



Ryc. 6.21. Udziały procentowe hałasu zmierzonego przy różnie zagospodarowanej strefie najścia

Zróżnicowanie krzewów pod względem gatunkowym i wysokościowym wpływa korzystnie na dodatkowe „wyciszenie”, gdyż następuje skuteczne zakłócenie propagacji fali dźwiękowej i oczekiwana redukcja hałasu drogowego. Z przeprowadzonych badań wynika, że im bardziej zastosowane w szpalerze krzewy różnią się wysokością, średnicą, gęstością, wielkością liści, tym większa następuje za szpalerem redukcja hałasu drogowego. Korzystnie również wpływa sadzenie krzewów dwurzędowo i nierównoległe, tak by każda luka między krzewami sadzonymi w jednym rzędzie była wypełniona przez krzew posadzony w drugim rzędzie.

6.7. Wpływ ekranów drewnianych z loggią nad pasem dzielącym na poziom hałasu w strefie przejścia

W przypadku zastosowania na przejściach górnych ekranów drewnianych stosuje się także nieregularne wały ziemne i różnorodne nieregularne nasadzenia krzewów, ale nie muszą już one zasłaniać tych ekranów. Wały ziemne oraz zagajniki z krzewami mają kształty nieregularne i są „rozproszone” przy brzegach obiektu, wzdłuż ekranu. Bardzo często wały ziemne mają kształt kopca o wysokości ok. 1–1,5 m.



Ryc. 6.22. Widok przejścia górnego z ekranem drewnianym, z loggią nad pasem dzielącym

W ekranach drewnianych stosuje się dodatkowo loggie, zlokalizowane pośrodku przejścia od strony autostrady, bezpośrednio nad pasem dzielącym, o długości do 10 m (ryc. 6.22). Wewnątrz loggii także tworzy się nieregularne wały ziemne, o wysokości 0,3–0,6 m, i sadi się krzewy odpowiednio dobranego

gatunku, z rozłożystymi gałęziami (ryc. 6.23, 6.24). Krzewy posadzone w loggii są dobrane specjalnie, gdyż powinna to być roślinność o niedużych wymaganiach glebowych i płytkim ukorzeniu, odporna na mróz, suszę i zanieczyszczenia drogowe.

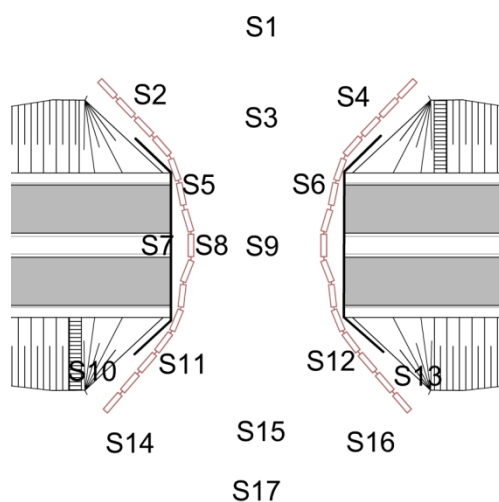


Ryc. 6.23. Wnętrze loggii obsiane krzewami
Źródło: fot. Radosław Madej [129].



Ryc. 6.24. Różnorodne gęste nasadzenia na przyczółku
Źródło: fot. Radosław Madej [129].

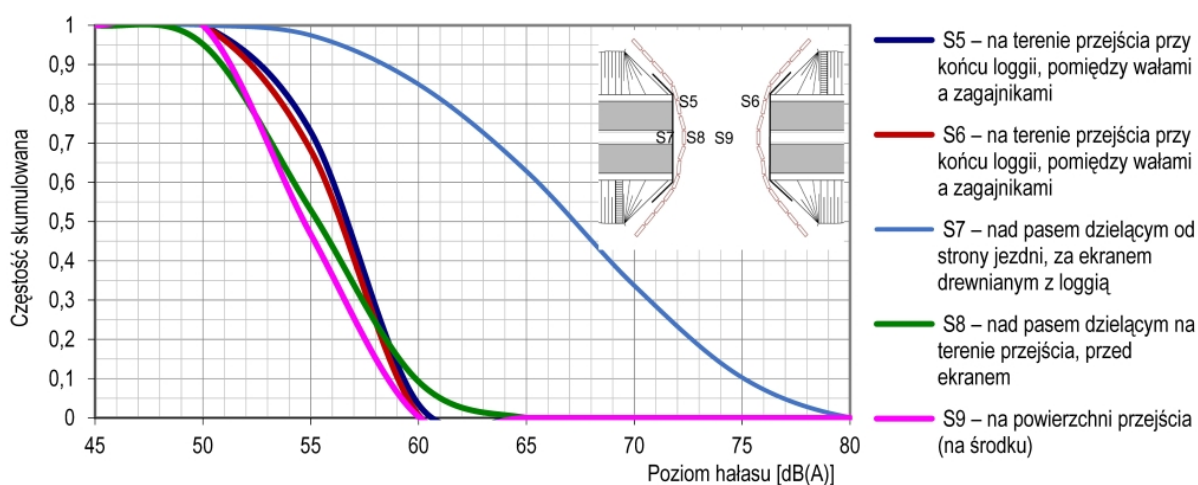
Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na terenie obiektu przedstawiono na ryc. 6.25. Rozkład wartości hałasu na powierzchni przejścia górnego, z ekranami drewnianymi i z loggią, jest mniej zróżnicowany niż przy ekranie betonowym (ryc. 6.26).



Ryc. 6.25. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na terenie obiektu z ekranem drewnianym i z loggią

Za ekranem, nad pasem dzielącym obie jezdnie, od strony autostrady odnotowano największe wartości hałasu – w granicach 50–80 dB(A), przy $Leq = 70,3$ dB(A) – ryc. 6.26 (dystrybanta S7), przy godzinowym natężeniu ruchu na autostradzie wynoszącym 1200 P/h i 5-procentowym udziale pojazdów ciężkich. Poziomy hałasu drogowego zmierzony za ekranem, we wnętrzu loggii (ryc. 6.27), przewyższał w poszczególnych kwantylach o 5–15 dB(A) poziomy hałasu odnotowane na terenie przejścia w punktach osłoniętych od autostrady ekranem i wałami ziemnymi. Dystrybanta S5, S6 i S8 odnoszą się do punktów pomiarowych zlokalizowanych na terenie przejścia. Dystrybanta S9 odnosi się do punktu pomiarowego znajdującego się na środku przejścia górnego, które jest zdecydowanie najcichszym miejscem na terenie obiektu (ryc. 6.26). Dystrybanta S5 i S6 odnoszą się do punktu pomiarowego przy końcu loggii, przed wałem ziemnym obsianym trawą, którego wysokość wynosi ok. 1–1,5 m. Dystrybanta S8 odnosi się do punktu pomiarowego

bezpośrednio przed ekranem, na terenie przejścia nad osi ą autostrady i w osi loggii, pomiędzy wałem ziemnym, o wysokości 1,5 m, obsianym różnymi odmianami traw, a zagajnikiem z żarnowca miotlastego (*Cytisus scoparius*). Jest to jedno z najbardziej cichych miejsc na przejściu.



Ryc. 6.26. Dystrybuanty poziomu hałasu zmierzonego nad osi ą autostrady, w poprzek przejścia (ekrany drewniane z loggi ą)

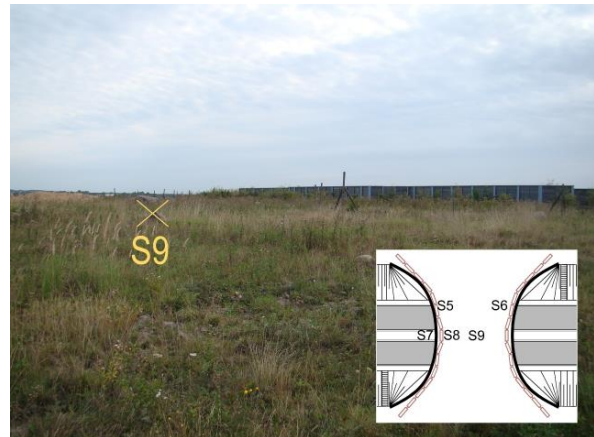


Ryc. 6.27. Lokalizacja punktów pomiarowych S7 i S8 w pobliżu loggii

W miejscach rozproszonych zlokalizowanych na powierzchni obiektu, pomiędzy zagajnikami a wałami ziemnymi, odnotowano cz ąstkowe wartości hałasu w granicach 48–60 dB(A), przy małych wahanach poziomu hałasu $Leq \approx 56$ dB(A). Tylko pośrodku obiektu, tuż za ekranem, odnotowano niewielki udział procentowy hałasu w granicach 60–65 dB(A). Jednak najcichszym miejscem była środkowa cz ęść przejścia, tzw. strefa migracji, pomiędzy nieregularnymi wałami ziemnymi, o wysokości ok. 1–1,5 m (wartości hałasu mieściły się w zakresie 50–60 dB(A) – ryc. 6.28, 6.29, przy $Leq = 55,6$ dB(A)). Wały ziemne były poprzedzielane dodatkowo nieregularnymi zagajnikami, zawsze z centralnie posadzonego żarnowcem miotlastym (*Cytisus scoparius*). Po kilkunastoletniej eksploatacji przejścia zaobserwowano usychanie posadzonych krzewów, poobgryzane gałęzie wszelkich nasadzeń do wysokości ok. 0,7 m. Przez pierwszych osiem lat eksploatacji obiektu zagajniki na terenie przejścia były ogrodzone, po tym okresie ogrodzenia siatkowe zagajników rozebrano i zwierzęta mogły do woli żywić się liśćmi i owocami różnorodnych krzewów posadzonych w tych zagajnikach.



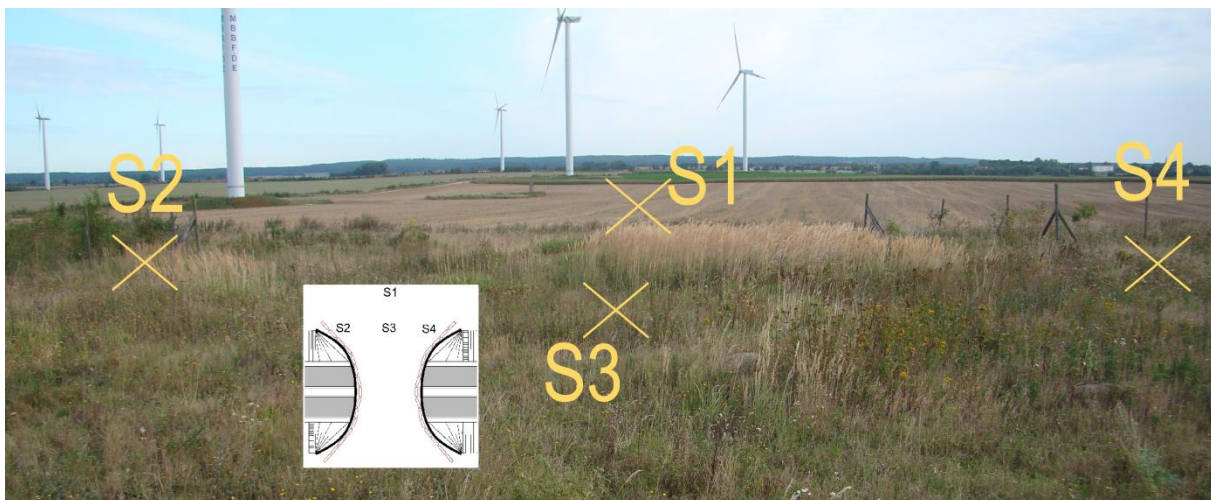
Ryc. 6.28. Poziom hałas w punkcie S9 równy 53 dB(A)



Ryc. 6.29. Lokalizacja punktu pomiarowego S9 na środku strefy migracji, pomiędzy wałami ziemnymi a zagajnikami

Najbardziej poszkodowany pod tym względem okazał się żarnowiec miotlasty (*Cytisus scoparius*), który był z jednej strony bardzo narażony na spaliny, a z drugiej strony stanowił dobry pokarm dla zwierząt. Ponieważ nie stosowano żadnych zabiegów pielęgnacyjnych, dotyczących systemu korzeniowego, w wysuszonej glebie po kilku latach bardzo niekorzystnych warunków krzew zaczął obumierać.

Kolejna analiza elementów zagospodarowania terenu, zastosowanych na przejściu górnym z ekranami drewnianymi, dotyczyła rozkładu wartości hałasu w strefie dojścia i najścia na obiekt. W pierwszej kolejności przeanalizowano rozkład hałasu na dojściu do obiektu, na przedłużeniu jego podłużnej osi od strony pól uprawnych (ryc. 6.30). Od autostrady teren dojścia do obiektu i pola uprawne nie były niczym osłonięte, a pola uprawne w momencie wykonywania pomiarów były zaorane. Propagacja fali dźwiękowej dochodzącej od autostrady była zakłócona z obu stron obiektu jedynie przez skarpy wykopu w bezpośrednim sąsiedztwie przejścia górnego. Skarpy obu przyczółków obiektu były porośnięte rzadko krzewami zróżnicowanymi pod względem gatunków i rozmiarów.

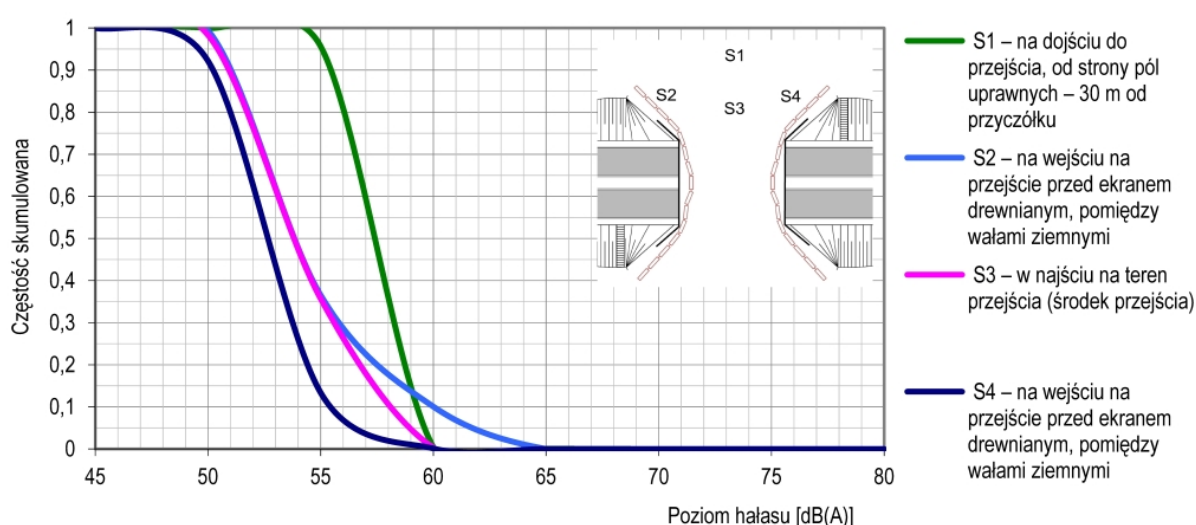


Ryc. 6.30. Lokalizacja punktów pomiarowych na dojściu do obiektu, od strony pól uprawnych, i w strefie najścia

Miejsca oznaczone na ryc. 6.30 symbolami S2, S3 i S4 dotyczą punktów pomiarowych rozlokowanych w poprzek obiektu, wzdłuż linii końca przyczółku i końca wykopu, oraz odpowiednich dystrybuant przedstawionych na ryc. 6.31. W okolicy punktu pomiarowego S4 było uformowanych zdecydowanie więcej nieregularnych wałów ziemnych niż przy punkcie pomiarowym S2, położonym wśród zagajników z głogu dwuszypkowego (*Crataegus laevigata*), leszczyny (*Corylus avellana*), porzeczki alpejskiej (*Ribes alpinum*) i żarnowca miotlastego (*Cytisus scoparius*).

Dystrybuanta S3 dotyczy pomiarów wykonanych w osi podłużnej obiektu, pośrodku najścia. W punktach S2, S3 i S4 odnotowano najmniejsze wartości hałasu, gdyż były to miejsca osłonięte od autostrady ekranem drewnianym, licznymi nieregularnymi wałami ziemnymi i zagajnikami z różnorodnymi nasadzeniami. Różnice pomiędzy wartościami poszczególnych kwantyli w tych punktach są nieduże. Jednak wały ziemne (punkt S4) wpływają zdecydowanie bardziej na wyciszenie niż zagajniki z różnorodnych krzewów. Ponadto należy zaznaczyć, że krzewy przy końcu ekranu nie były gęsto posadzone, w związku z czym fala dźwiękowa mogła się swobodniej rozchodzić.

Natomiast dystrybuanta S1 dotyczy pomiarów wykonanych w odległości 30 m od końca przyczółku, na dojeździe do przejścia górnego, od strony pól uprawnych niczym nieosłoniętych od autostrady. W trakcie wykonywania pomiarów pola były zaorane i nie było żadnych przeszkód w rozprzestrzenieniu się fali dźwiękowej, w związku z czym w punkcie S1 zanotowano poziom hałasu wyższy o ok. 5 dB(A) niż w pozostałych punktach, osłoniętych od autostrady ekranami, krzewami i wałami ziemnymi. Trzeba jednak zdecydowanie podkreślić, że żadna wartość kwantyla nie przekraczała 60 dB(A).

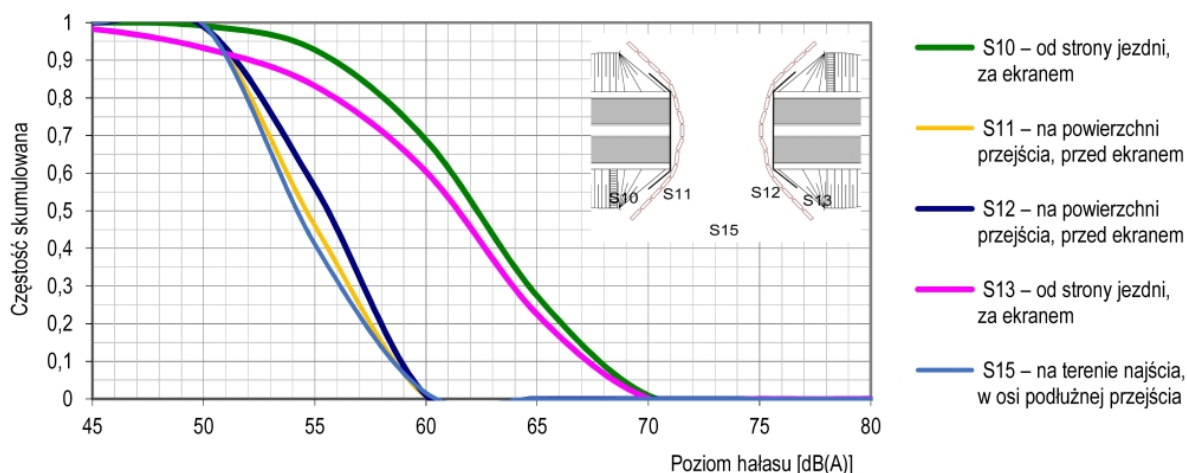


Ryc. 6.31. Dystrybuanty poziomu hałasu zmierzonego w najściu i na dojeździe do przejścia górnego, od strony pól uprawnych (ekrany drewniane)

Ostatnia analiza wpływu zagospodarowania przejścia z ekranami drewnianymi na rozkład poziomu hałasu na jego powierzchni dotyczyła dojeździe do obiektu od strony lasu (ryc. 6.32). W danym przypadku strefa dojeździe i najście na przejście od strony autostrady była dodatkowo osłonięta, po jednej stronie obiektu, szerokimi wysokimi na ok. 4 m wałami ziemnymi obsianymi trawą. Rozkład punktów pomiarowych przedstawiono na ryc. 6.25.

Dystrybuanty oznaczone na ryc. 6.32 symbolami S10 i S11 dotyczą punktów pomiarowych rozlokowanych w poprzek obiektu, wzdłuż linii końca przyczółku oraz ekranu, bezpośrednio za ekranem drewnianym od strony autostrady i przed ekranem od strony przejścia. W miejscu pomiarowym S11 było zdecydowanie najciszej (ryc. 6.33), gdyż od autostrady odgradzały to miejsce ekran drewniany, wały ziemne i zagajniki. Dojeździe do obiektu poprzedzały długie, równoległe do autostrady, wały ziemne wysokie na 4 m (ryc. 6.6). Wobec czego hałas drogowy nie docierał w pełni do punktu pomiarowego S11, gdyż równoległy do autostrady wał stanowił dla niego istotną przeszkodę. Punkt pomiarowy S12 od autostrady oddzielały ekran, wały ziemne i nieregularne dwa rzędy zagajników: leszczyny (*Corylus avellana*), porzeczeki alpejskiej (*Ribes alpinum*) oraz żarnowca miotłastego (*Cytisus scoparius*) i innych krzewów (ryc. 6.34). Na dojeździe do obiektu nie było wałów, tylko skarpy wykopu porośnięte krzewami. Ta różnica w zabezpieczeniu dojeździe do obiektu od strony autostrady spowodowała, że w punkcie S12 odnotowano wartości poszczególnych kwantyli poziomu hałasu o ok. 2–3 dB(A) większe niż w punkcie przeciwległym S11. Inne zagospodarowanie dojeździe i różnica w postaci uformowanego wału po jednej stronie autostrady, równoległego do niej, okazała się więc na tyle istotna, że wpłynęła na zwiększenie hałasu drogowego na dojeździe do obiektu, od strony otoczenia

autostrady bez wału. Natomiast dystrybuanta S15 dotyczy pomiarów wykonanych w odległości 30 m od końca przyczółku, na dojściu do przejścia górnego od strony lasu, czyli miejsca osłoniętego od autostrady z jednej strony wysokim wałem, a z drugiej strony nieregularnymi zagajnikami.



Ryc. 6.32. Dystrybuanty poziomu hałasu na dojściu do przejścia górnego, od strony lasu (ekrany drewniane)

Istotne są także wartości kwantyli poziomu hałasu w punktach przed ekranami na terenie obiektu, gdyż prawie wszystkie są mniejsze od 55 dB(A), z wyjątkiem kwantyli 20% i 10% w punkcie pomiarowym nieosłoniętym, na dojściu do obiektu od strony autostrady, długim wałem ziemnym.

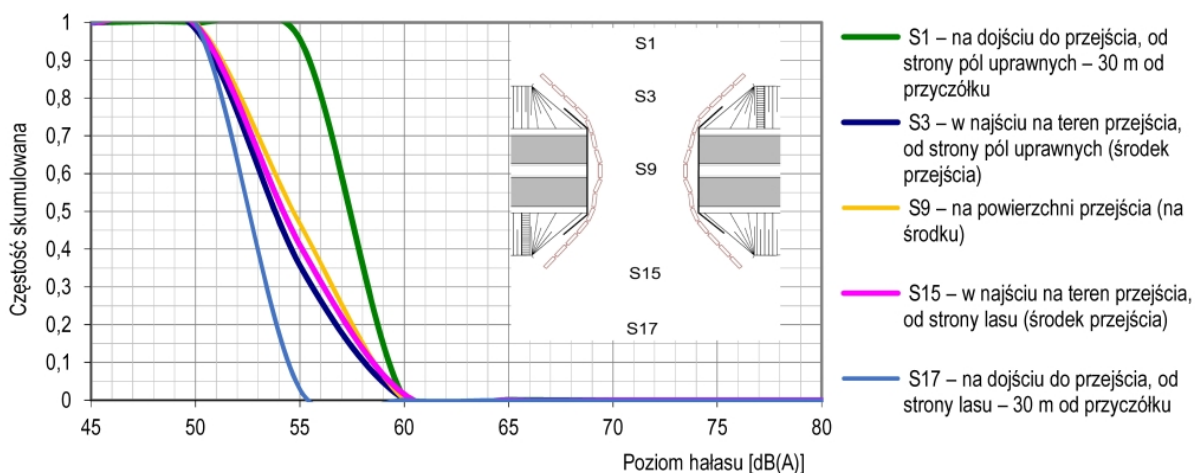


Ryc. 6.33. Punkt pomiarowy S11 w strefie dojścia, osłonięty od autostrady długim wałem oraz ekranem i zagajnikami
Źródło: fot. Radosław Maron [134].



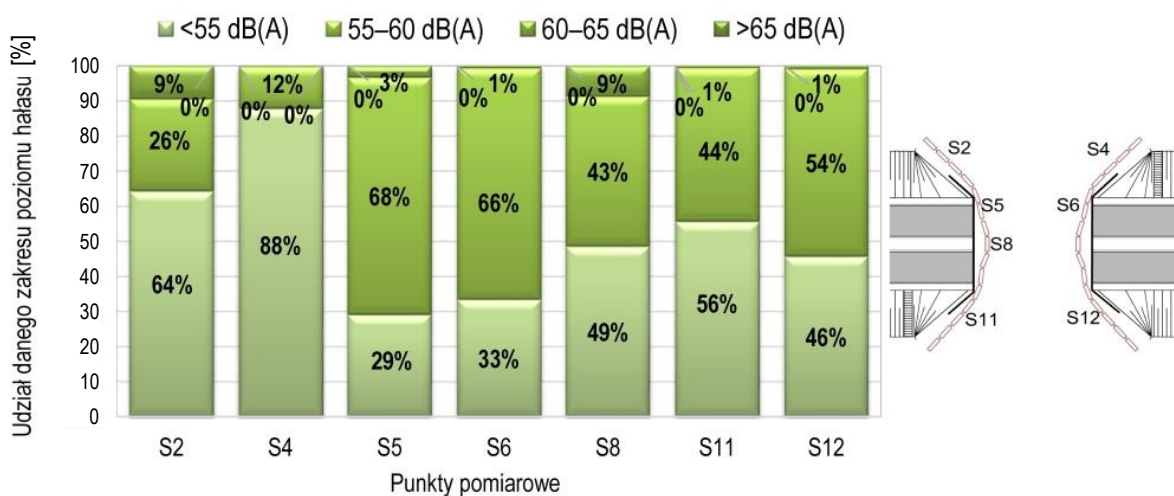
Ryc. 6.34. Punkt pomiarowy S12 w strefie dojścia, osłonięty od autostrady tylko skarpią wykopu, a na obiekcie – ekranem

Porównanie poziomów hałasu, odnotowanych przy zastosowanych ekranach i zagospodarowaniu terenu, wykazało, że zadecydowanie lepsze warunki mikroklimatyczne na przejściu górnym zapewnia ekran drewniany z loggią i zastosowane nieregularne wały ziemne oraz zagajniki z różnego rodzaju krzewów. Na ryc. 6.35 przedstawiono jeszcze rozkład wartości hałasu z punktów pomiarowych usytuowanych wzdłuż osi podłużnej obiektu. Punkty różnią się między sobą otoczeniem; najcichsze miejsca odnotowano na dojściu od strony lasu (S17), gdzie wszystkie wartości kwantyli były mniejsze od 55 dB(A). Natomiast największe wartości poszczególnych kwantyli odnotowano na dojściu do obiektu, od strony pól uprawnych (S1); w tym przypadku wartości kwantyli wahają się w granicach 55–60 dB(A). Pozostałe dwa wyniki w punktach S9 (pośrodku obiektu, nad pasem dzielącym) i S3 (pośrodku obiektu, w linii przyczółku, od strony pól uprawnych) różnią się między sobą najwyżej o ok. 1 dB(A), co można uzasadnić tym, że punkt S3 jest położony o ok. 9 m dalej od źródła hałasu niż punkt S9, znajdujący się bezpośrednio nad autostradą.



Ryc. 6.35. Dystrybuanty hałasu zmierzonego w punktach pomiarowych usytuowanych wzdłuż osi podłużnej obiektu

Analogicznie, jak w przypadku ekranu betonowego, przeprowadzono analizę udziału procentowego danego zakresu wartości hałasu w różnych miejscach przejścia przy ekranie drewnianym. Analiza otrzymanych udziałów procentowych, przedstawionych na ryc. 6.36, wykazała, że wartości zmierzonych cząstkowych wartości hałasu powyżej 60 dB(A) stanowiły 97–99% w punktach pomiarowych od strony lasu i przy końcu loggii. Natomiast od strony pól uprawnych, w najściu na przejście, udział wartości hałasu powyżej 60 dB(A) stanowił 9–12%, choć sporo cząstkowych wartości hałasu znalazło się w zakresie poniżej 55 dB(A), czyli 64–88%. Jednak trzeba pamiętać o tym, że wartości te związane są z chwilową intensywnością ruchu odnotowaną w trakcie wykonywania pomiarów.



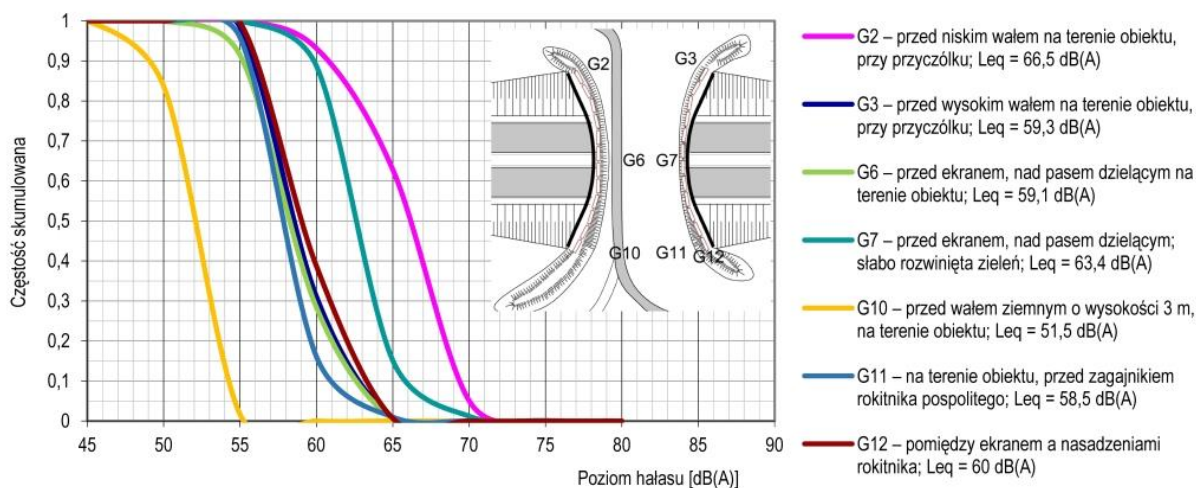
Ryc. 6.36. Udziały procentowe wartości hałasu zmierzonego przy różnym zagospodarowaniu terenu wokół punktu pomiarowego

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że o ostatecznej redukcji hałasu na przejściu decyduje nie tylko natężenie ruchu, udział procentowy pojazdów ciężkich, rodzaj ekranu itd.; istotnie do tego przyczynia się również zagospodarowanie powierzchni przejścia i zagospodarowanie terenu w najbliższym otoczeniu konkretnego punktu pomiarowego. Dopiero uwzględnienie wszystkich czynników, o których wspomniano w rozdz. 6.4, pozwala oszacować wstępnie, jakie poziomy hałasu mogą być osiągnięte po zaprojektowaniu danego zagospodarowania powierzchni przejścia i terenu w jego najbliższym otoczeniu.

6.8. Wpływ rodzaju ekranu na poziom hałasu na przejściu habitatowym

Na przejściach górnych jednym z najważniejszych elementów obiektu jest ekran. Ważne są jego konstrukcja, rodzaj zastosowanego materiału i przede wszystkim jego wysokość. Wytyczne projektowania zagraniczne [42] i krajowe [121] wskazują jedynie, że ekran powinien spełniać dwie zasadnicze funkcje – przeciwdźwiękową i przeciwoślnościową. Początkowo, budując przejścia górne dla zwierząt, stosowano z reguły ekrany z płyt betonowych, później zaczęto budować ekrany drewniane, gdyż były one bardziej naturalne. Bywa, szczególnie w Polsce, że na przejściach stosowane są ekrany z PCV (ryc. 3.86, 3.88), lecz stanowią one dla zwierząt obcy, sztuczny, element przejścia, w związku z czym powinny być, tak jak ekrany betonowe, zasłaniane roślinnością (tj. różnorodnymi krzewami) i bluszczem. Każdy zastosowany rodzaj ekranu, betonowy, drewniany czy z PCV, uzupełniony nasadzeniami i wałami ziemnymi, wpływa na redukcję hałasu na powierzchni przejścia. Na mostach zielonych ekolodzy zalecają stosowanie ekranów (ryc. 4.55, 4.56), natomiast na mostach krajobrazowych – stosowanie za ogrodzeniem siatkowym dużych i szerokich wałów ziemnych z nasadzeniami zróżnicowanych krzewów (ryc. 4.57, 4.58). W Holandii po doświadczeniach uzyskanych podczas budowy wielu mostów, oddanych do użytku w ostatnich latach, zaleca się stosowanie jak najmniejszej ilości nasadzeń i raczej pozostawianie powierzchni przejścia do samoistnej ekspansji roślinności; zajmuje to jednak kilka lub kilkanaście lat, na co zwrócono uwagę w rozdz. 3 i 4 niniejszej monografii.

Typowy ekran zastosowany na moście zielonym powinien mieć ok. 3 m wysokości. Przy uwzględnieniu rozkładu fali dźwiękowej wokół autostrady największe wartości hałasu będą notowane bezpośrednio nad obiema jezdniami, z kulminacją szczytową fali dźwiękowej nad pasem dzielącym. Dbając o uzyskanie jak najlepszych warunków naturalnych, na powierzchni przejścia górnego stosuje się wspomagająco wzdłuż ekranów, od strony przejścia, nieregularne wały ziemne i nasadzenia różnorodnych krzewów w większych lub mniejszych skupiskach. Wały ziemne mogą być formowane wzdłuż ekranów, w linii ciągłej, z różnorodnymi nasadzeniami, tak jak w latach 90. ub.w. Można także stosować wały ziemne w kształcie nieregularnych kopców, o wysokości do 1,5 m, na przemian z nieregularnymi zagajnikami różnorodnych krzewów odpornych na suszę, mróz i zanieczyszczenia drogowe. Przy ekranach betonowych dodatkową rolę zarówno wałów, jak i krzewów jest zasłonięcie widoku tych ekranów od wewnętrznej strony przejścia.



Ryc. 6.37. Dystrybuanty poziomu hałasu na przejściu górnym (ekrany betonowe)

Na podstawie wykonanych badań poziomu hałasu drogowego można stwierdzić, że istotne jest zastosowanie od strony jezdni, za ekranem, pólki z niewielkimi wałami ziemnymi, obsadzonej roślinnością (ryc. 6.19), gdyż stanowią one kolejny element przerywający propagację fali dźwiękowej. Półka za ekranem służy także do celów utrzymaniowych służby eksploatacyjnej. Również stosowanie loggii przy ekranach drewnianych (ryc. 6.22) okazało się bardzo skuteczne w przerwaniu fali dźwiękowej i tym samym istotne

w redukcji poziomu hałasu na przejściu górnym. W Holandii sporo eksperymentuje się z ekranami drewnianymi, zmieniając ich położenie i kształt (ryc. 3.71), co opisano szczegółowo w rozdz. 3.7.

Rozkład wartości hałasu na obiekcie z ekranami betonowymi jest bardzo zróżnicowany (ryc. 6.37). Za ekranem betonowym (tj. od strony autostrady – G5, ryc. 6.14), nad pasem dzielącym, odnotowano największe wartości hałasu (64–81 dB(A), $Leq = 75$ dB(A)).

Najgłośniejszymi miejscami na powierzchni przejścia okazały się miejsca pozbawione zieleni i przy odsłoniętym ekranie betonowym. Duże „wyciszenie” (poziom hałasu wahał się w zakresie 51–65 dB(A), przy $Leq = 57,5$ – $58,5$ dB(A)) odnotowano w miejscach, w których przyjęły się krzewy rokitnika pospolitego (*Hippophaë rhamnoides*) i w których cały zagajnik był dość szeroki (pkt G11) oraz po drugiej stronie przejścia (pkt G6), gdzie całą powierzchnię ekranu zasłaniały rozrośnięte (o wysokości ponad 3 m) krzewy śliwy tarniny (*Prunus spinosa*), głogu dwuszyjkowego (*Crataegus laevigata*), kaliny koralowej (*Viburnum opulus*) i leszczyny (*Corylus avellana*), dodatkowo uzupełnione małymi krzewami porzeczki alpejskiej (*Ribes alpinum*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*). A najcichszym miejscem okazało się miejscowe niewielkie obniżenie terenu, o głębokości ok. 0,3–0,5 m, przy wale ziemnym, o wysokości ponad 3 m, obrośniętym tylko trawą (pkt G10), tj. w miejscu połączenia wału ziemnego z ekranem betonowym (poziom hałasu wahał się w zakresie 47–55 dB(A), przy $Leq = 51,5$ dB(A)).

Zdjęcia satelitarne z Google Earth porównywanych przejść górnych z różnymi ekranami i przy różnym zagospodarowaniu, zarówno otoczenia przejścia, jak i strefy najścia oraz migracji, przedstawiono na ryc. 6.38 i 6.39.



Ryc. 6.38. Przejście górne nad autostradą, z ekranem betonowym; stan zieleni w miesiącach letnich
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

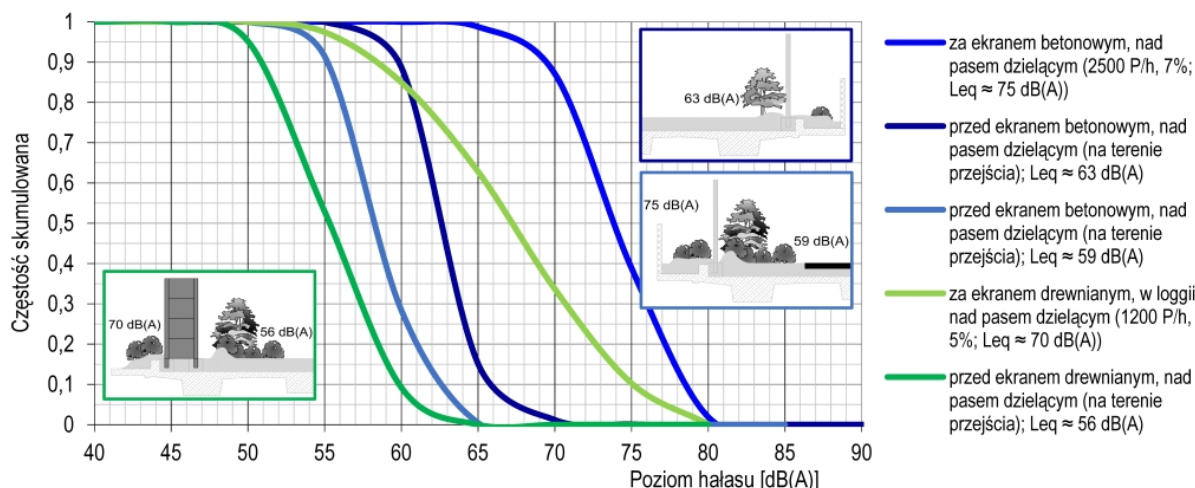


Ryc. 6.39. Przejście górne nad autostradą, z ekranem drewnianym; stan zieleni wiosną
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].

W przypadku ekranów drewnianych w strefie migracji także stosuje się wały ziemne i różnorodne nasadzenia, ale nie muszą one już pełnić funkcji zasłaniającej te ekrany. Wały ziemne i zagajniki z krzewami mają kształty nieregularne i są „rozproszone” przy brzegach obiektu, wzdłuż ekranów. W ekranach drewnianych stosuje się dodatkowo loggie, pośrodku przejścia od strony autostrady, bezpośrednio nad pasem dzielącym, o długości do 10 m. Wewnątrz loggii także formuje się wały ziemne, wysokości 0,3–0,6 m, i sadi się krzewy odpowiedniego gatunku, z rozłożystymi gałęziami. Krzewy posadzone w loggii są dobierane specjalnie, gdyż muszą to być krzewy o niedużych wymaganiach glebowych i powinny się charakteryzować płytkim ukorzeniem. W przypadku zastosowania ekranu drewnianego następuje mniejsze zróżnicowanie poziomów hałasu, co przedstawiono na ryc. 6.36.

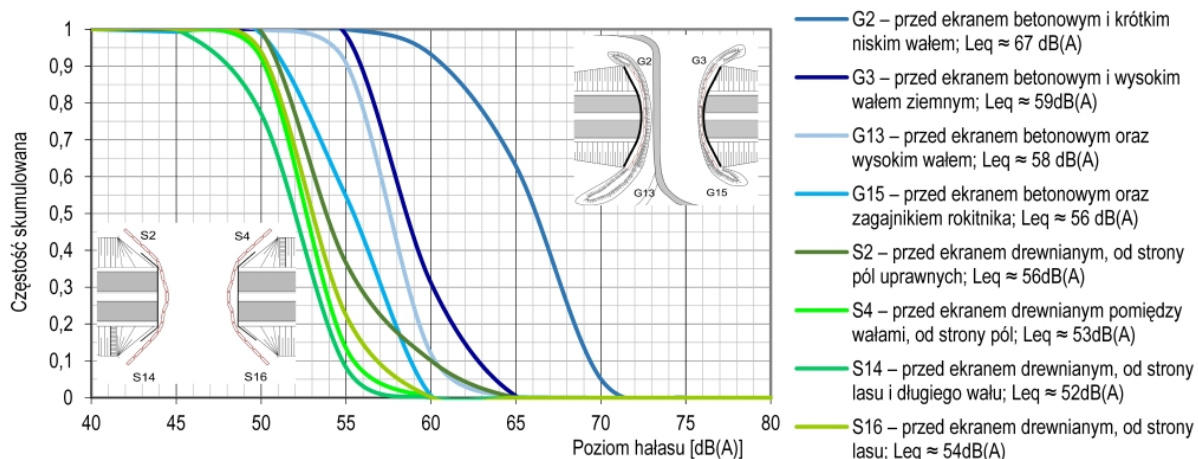
Aby stwierdzić, przy którego typu ekranach mniejszy jest hałas na środku przejścia, porównano na ryc. 6.40 wyniki kwantyli poziomów hałasu zmierzonego za ekranem na zewnątrz obiektu, nad pasem dzielącym i przed ekranem na terenie obiektu. Ekran betonowy spowodował zmniejszenie poziomu hałasu na terenie

obiekty prawie we wszystkich kwantylach o 8 dB(A), przy słabo zagospodarowanym zielenią wale uformowanym przed ekranem i do 15 dB(A), przy wale obsadzonym dwurzędowo dobrze rozwiniętymi krzewami. Natomiast ekran drewniany zredukował poziom hałasu w zakresie od 8 do 15 dB(A). Udział procentowy pojazdów ciężkich u_c był podobny, ale godzinowe natężenie ruchu różniło się dwukrotnie, co prawdopodobnie wpłynęło również na poziomy hałasu zmierzone za ekranem od strony jezdni.



Ryc. 6.40. Dystrybuanty poziomu hałasu pośrodku obiektu, nad pasem dzielącym autostrady, przy różnego typu ekranach (w legendzie w punktach usytuowanych za ekranem, nad jezdnią, w nawiasach podano wartości godzinowego natężenia ruchu, udziału procentowego ruchu ciężkiego u_c i zrównoważonego poziomu hałasu Leq)

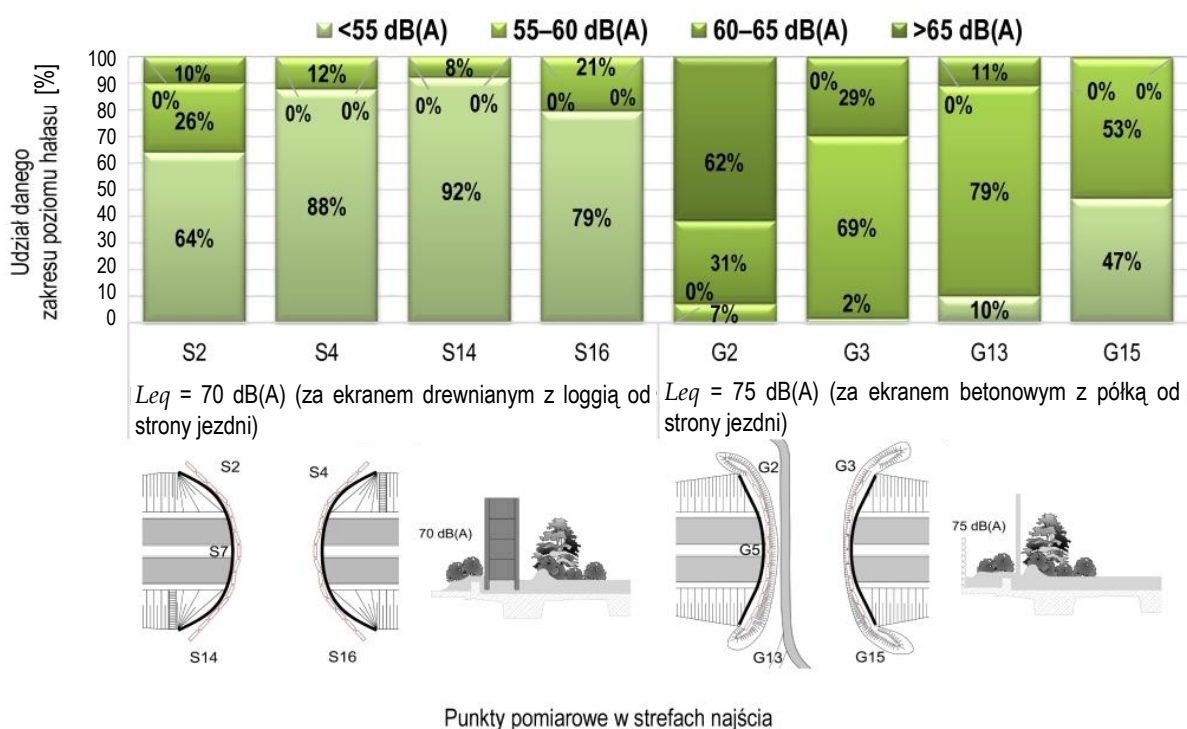
Analiza przebiegu dystrybuant jednak wykazała, że na obiekcie, na którym zastosowano ekran drewniany, poziom hałasu nie przekraczał w pobliżu ekranu 60 dB(A), a wartości kwantyli zmieniały się w przedziale 50–60 dB(A). Natomiast na obiekcie z ekranem betonowym hałas osiągnął największą wartość wynoszącą 70 dB(A), czyli o 10 dB(A) większą niż przy ekranie drewnianym. Na obiekcie z ekranem betonowym wartości kwantyli zmieniały się w przedziale 55–70 dB(A), przy słabo zagospodarowanym wale ziemnym, i w przedziale 50–65 dB(A), przy bogato zagospodarowanym wale ziemnym.



Ryc. 6.41. Dystrybuanty poziomu hałasu w strefie najścia na obiekt przy różnego typu ekranach

Kolejne porównanie wpływu typu ekranów na rozkład wartości hałasu dotyczyło ośmiu punktów pomiarowych w strefach najścia (ryc. 6.41). Przy zastosowaniu ekranu betonowego na wejściu na obiekt odnotowano wartości hałasu w zakresie 55–70 dB(A), natomiast przy ekranie drewnianym – w zakresie 45–60 dB(A). Przy ekranie betonowym i na przedłużeniu jego końców walem ziemnym nie uzyskano takiego wyciszenia jak przy ekranie drewnianym uzupełnionym niewysokimi wałami i nieregularnymi zagajnikami.

Wartości zrównoważonego poziomu hałasu również były bardzo różne na porównywanych obiektach z różnymi typami ekranu. Przy ekranie betonowym odnotowano zrównoważony poziom hałasu $Leq = 59\text{--}67\text{ dB(A)}$, przy poziomie hałasu za ekranem betonowym od strony jezdni $Leq = 75\text{ dB(A)}$. Natomiast na wejściu na obiekt, na którym zastosowano ekrany drewniane z loggią, niezależnie od tego, czy punkty pomiarowe były zlokalizowane od strony pól uprawnych czy od strony lasu, niezależnie od tego, czy osłaniał je wał ziemny czy nie, poziom hałasu $Leq = 52\text{--}56\text{ dB(A)}$, przy poziomie hałasu za ekranem betonowym od strony jezdni $Leq = 70\text{ dB(A)}$. Dodatkowo na ryc. 6.42 przedstawiono udziały procentowe poszczególnych zakresów poziomu hałasu w analizowanych punktach pomiarowych, znajdujących się w strefie najścia.



Ryc. 6.42. Udziały procentowe poziomu hałasu zmierzonego w strefie najścia przy różnego typu ekranach

Analiza rozkładu wartości hałasu w wybranych punktach pomiarowych wskazuje, że przy zastosowaniu ekranu drewnianego, wraz z nieregularnymi wałami ziemnymi, w kształcie kopców o wysokości do 1,5 m, oraz zagajników różnorodnych krzewów uzyskano większą redukcję i większy udział procentowy cząstkowych wartości hałasu mniejszych od 55 dB(A) niż w przypadku ekranu betonowego.

Na podstawie analizy rozkładu wartości hałasu, przedstawionego na ryc. 6.40–6.42, wykazano większą efektywność w redukcji poziomu hałasu ekranu drewnianego z loggią niż ekranu betonowego, bez względu na godzinowe natężenie ruchu i udział procentowy pojazdów ciężkich u_c . Przy czym przy ekranie betonowym były uformowane niewysokie wały, na których znajdowały się nasadzenia. Potwierdziły się więc wstępnie sformułowane determinanty wpływu czynników ogólnych i różnych elementów zagospodarowania na poziom hałasu zmierzony w danym punkcie, wymienione w tab. 6.2 w rozdz. 6.4.

W odniesieniu do powyższych wyników przeanalizowano również wyniki pomiarów hałasu drogowego wykonane na przejściu górnym z ekranem betonowym, gdy w strefie migracji uformowane są szerokie wały ziemne z zastosowanymi bogatymi nasadzeniami (ryc. 6.43–6.46). Na zdjęciu satelitarnym (ryc. 6.43) przedstawiono stan zieleni w trakcie wykonywania pomiarów. Na ryc. 6.44 przedstawiono stan zastosowanych nasadzeń w miesiącach letnich w strefie migracji, na której zlokalizowane są przed wałem ziemnym punkty B3, B4, B11 i B12 nad przyczółkami i B6 i B7 nad pasem dzielącym w osi poprzecznej przejścia. Punkt B6 znajdował się przed wałem ziemnym na terenie obsianym trawą, a punkt B7 – bliżej ekranu betonowego, pomiędzy krzewami. Na ryc. 6.45 przedstawiono widok obiektu od strony wschodniej

i miejsce lokalizacji punktu pomiarowego B6 za ekranem od strony jezdni, przy przyczółku, na półce pomiędzy krawędzią obiektu a ekranem, natomiast na ryc. 6.46 przedstawiono widok obiektu od strony zachodniej i lokalizację punktu pomiarowego B5 za ekranem od strony jezdni, nad pasem dzielącym w osi poprzecznej przejścia, na półce pomiędzy krawędzią obiektu a ekranem.

Wyniki rozkładu wartości hałasu na terenie strefy migracji przedstawiono na ryc. 6.47. W obu przypadkach lokalizacji punktów podano również wartości Leq zmierzone za ekranem, od strony jezdni.



Ryc. 6.43. Zdjęcie satelitarne przedstawiające stan zieleni w trakcie wykonywania pomiarów
Źródło: zdjęcie satelitarne z Google Earth [163].



Ryc. 6.44. Strefa migracji w analizowanym przypadku, na której były zlokalizowane punkty B3, B4 (niewidoczne na zdjęciu), B11 i B12 nad przyczółkami oraz punkty B6 i B7 zlokalizowane nad pasem dzielącym, w osi poprzecznej przejścia

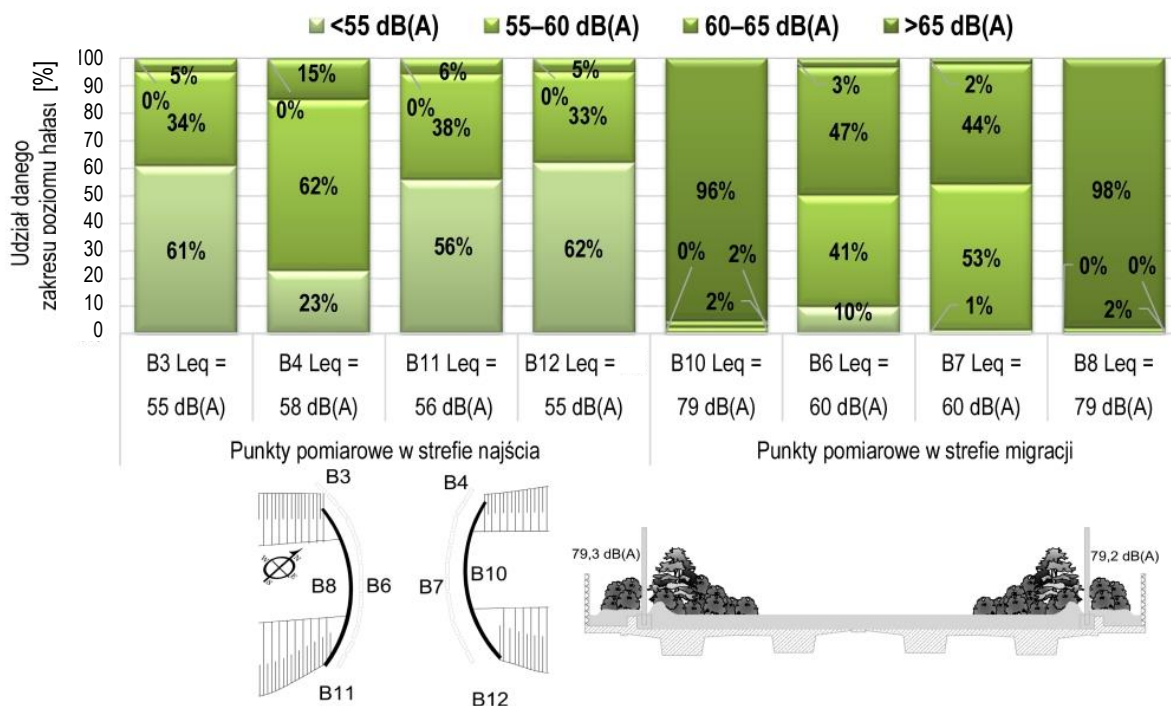


Ryc. 6.45. Widok wschodniej strony obiektu i stan zieleni w trakcie pomiarów (lokalizacja punktu B8 nad pasem dzielącym, na środku półki za ekranem od strony jezdni)



Ryc. 6.46. Widok zachodniej strony obiektu i stan zieleni w trakcie pomiarów (lokalizacja punktu B10 nad pasem dzielącym, na środku półki za ekranem od strony jezdni)

Analiza danych przedstawionych na ryc. 6.47 wykazała, że w strefie najścia prawie we wszystkich przypadkach udział poziomego hałasu < 55 dB(A) wynosi ok. 60%, a udział poziomego hałasu powyżej 60 dB(A) waha się w granicach 5–6%, poza jednym przypadkiem, w którym mniej krzewów rosło na skarpie przyczółków. Natomiast w strefie migracji na środku obiektu odnotowano nieznacznie wyższe poziomy hałasu drogowego, przy $Leq \approx 60$ dB(A); udział cząstkowych wartości hałasu < 60 dB(A) stanowi ok. 51–53%. Istotne jest w danym przypadku podkreślenie, że ekran betonowy wraz z wałem ziemnym, uformowanym za ekranem na półce, oraz z szerokim wałem ziemnym, uformowanym na powierzchni przejścia przed ekranem, przy bogatym zagospodarowaniu obu wałów zielenią, może zredukować poziom hałasu nawet o $\Delta Leq = 24$ dB(A).



Ryc. 6.47. Udziały procentowe poziomu hałasu, zmierzonego w strefie najścia i migracji, na obiekcie z ekranem betonowym, z zastosowanymi szerokimi wałami ziemnymi z bogatymi nasadzeniami krzewów

Podsumowując, w powyższej analizie wykazano istotność i znaczenie wałów ziemnych zastosowanych wzdłuż autostrady, na dojazdach do przejścia górnego oraz w strefie najścia i migracji. Projektując niweletę autostrady w niewielkim wykopie i stosując obustronne wały ziemne z nasadzeniami odpowiednio dobranych krzewów, można osiągnąć redukcję hałasu na terenie dojazdu nawet o kilkanaście decybeli. Uwzględniając pasma słyszalności różnych gatunków zwierząt, znacznie różniące się od pasm słyszalności ucha ludzkiego, można na terenie dojazdu do obiektu osiągnąć bardzo dobre naturalne warunki mikroklimatu (tj. m.in. redukcję hałasu drogowego, zmniejszenie stężenia spalin, odpowiednią wilgotność, naturalne otoczenie zieleni itd.), co zapewni dobrą funkcjonalność danego przejścia habitatowego. Wyniki przeprowadzonych badań poziomu hałasu przed wałem ziemnym na terenie dojazdu do obiektu potwierdzają znaczenie i konieczność budowy wałów.

W odniesieniu do przejść górnych bardzo ważnym czynnikiem jest ich lokalizacja i zapewnienie korzystnych warunków naturalnych dla zwierząt. Według wytycznych zagranicznych [42, 52, 234, 239] i krajowych [121] przy lokalizacji górnych przejść powinno się uwzględniać naturalne szlaki migracyjne, rzeźbę terenu, struktury biotyczne i abiotyczne, a także krajobraz hydrograficzny. Spełnienie wszystkich warunków projektowych zawartych w wytycznych daje szansę na uzyskanie dobrej funkcjonalności danego przejścia, tzn. korzystania z niego przez okoliczną zwierzynę. Jednak spełnienie powyższych wymagań może być zniweczone poprzez nieumiejętny dobór poszczególnych elementów, np. poprzez źle dobrany rodzaj ekranu, niezastosowanie wałów ziemnych, a także niezastosowanie odpowiednich nasadzeń lub poprzez ich zły dobór.

Istotny jest również dobór materiału, z którego wykonany jest ekran. Stosowanie ekranu drewnianego z loggią pośrodku, nad pasem dzielącym, jest o wiele bardziej efektywne w redukcji hałasu drogowego niż stosowanie ekranu betonowego z nieregularnymi i rzadkimi nasadzeniami krzewów na niskich wałach ziemnych, bez względu na natężenie ruchu czy udział procentowy pojazdów ciężkich (ryc. 6.40, 6.41). Na podstawie rezultatów przeprowadzonych badań można stwierdzić, że bardzo skuteczne jest, w celu stworzenia odpowiedniego dla zwierząt mikroklimatu, budowanie w strefie najścia i migracji niewielkich nieregularnych wałów ziemnych (w kształcie kopców o wysokości do 1,5 m) i stosowanie małych zagajników z nasadzeniami różnorodnych gatunkowo krzewów.

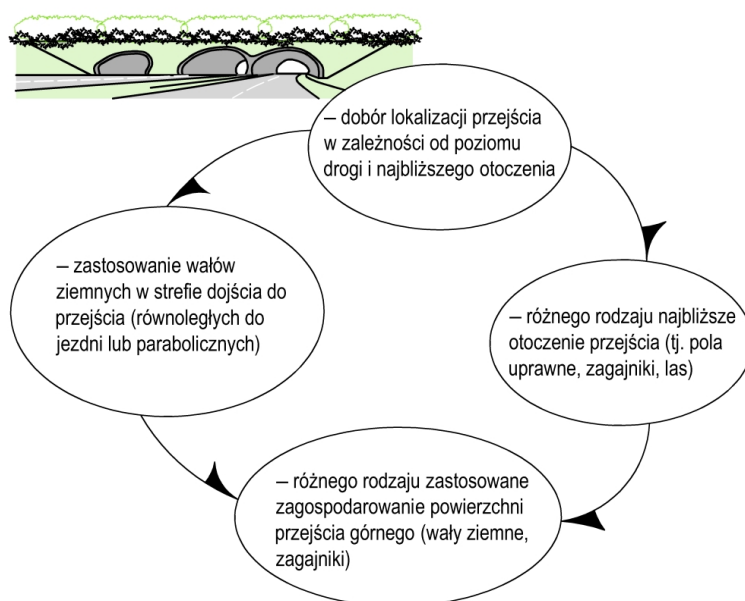
W powyższych analizach, zawartych w rozdz. 6.5, 6.6, 6.7 i 6.8, wykazano istotność stosowania nieregularnych wałów ziemnych i zagajników krzewów, zróżnicowanych gatunkowo i wysokościowo, zarówno na dojeściach do przejścia górnego, jak i na jego powierzchni. Bardzo istotne w redukcji hałasu i utrzymaniu przyjaznego zwierzętom mikroklimatu są wały ziemne, formowane zarówno za, jak i przed ekranem. Jeśli na wałach zastosuje się gęste nasadzenia ze zróżnicowanych gatunkowo i wysokościowo rozłożystych krzewów (ryc. 6.44–6.46), niezależnie od tego, czy przy ekranie betonowym czy drewnianym, to z dużym prawdopodobieństwem otrzyma się przyjazne zwierzętom przejście górne. Ważne jest także spełnienie warunków ekologicznych, biotycznych i abiotycznych.

6.9. Wpływ czynników ogólnych na klimat akustyczny w otoczeniu planowanego przejścia górnego

6.9.1. Wprowadzenie

Zgodnie z wytycznymi podanymi przez Ministra Środowiska Rozporządzeniu [177] oraz przez ekologów [51] na mapach akustycznych powinien być przedstawiony rozkład dopuszczalnych poziomów hałasu na analizowanym terenie, w zależności od sposobu zagospodarowania terenu i jego funkcji. Wyżej wymieniony akt prawny jednak dotyczy szczególnie miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego i studiów zagospodarowania przestrzennego oraz opracowań ekofizjograficznych [177]. W takim układzie mapę akustyczną nazywa się mapą wrażliwości hałasowej obszarów. Ze względu na fakt, że niniejsza monografia dotyczy zagadnień ekologicznych i jest ściśle związana z różnymi gatunkami zwierząt, o dość szerokich zakresach słyszalności, nie wszystkie zasady podane w Rozporządzeniu [177] muszą być zaznaczane na mapach akustycznych dotyczących przejść habitatowych. I te aspekty uwzględniono m.in. w niniejszym rozdziale.

Zgodnie z wymogami, dotyczącymi map akustycznych na inwestycjach drogowych, podanymi w pozycji [48] można sporządzić mapę akustyczną przejścia dla zwierząt na podstawie poziomu dźwięku generowanego przez ruch drogowy, przy uwzględnieniu lokalizacji obiektu, zagospodarowania przestrzennego otoczenia drogi, natężenia ruchu, konfiguracji terenu, istniejących przeszkód w propagacji fali dźwiękowej w postaci ekranów bądź wałów. Mapa akustyczna w takim układzie może posłużyć do szacowania skuteczności istniejących bądź planowanych działań ukierunkowanych na wyciszenie terenu przejścia (ryc. 6.48).

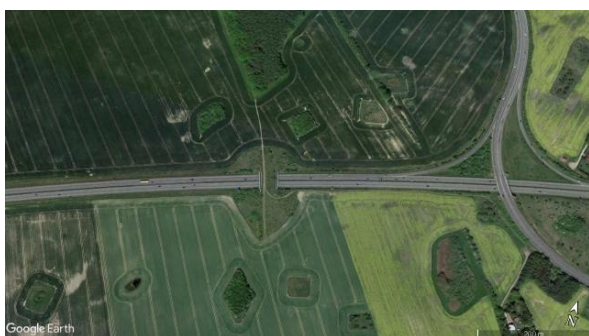


Ryc. 6.48. Schemat determinant wpływających istotnie na rzeczywisty klimat akustyczny na przejściu górnym

6.9.2. Wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania otoczenia na klimat akustyczny wokół drogi usytuowanej na poziomie otaczającego terenu

Spośród istniejących obiektów habitatowych do analiz, oceniających wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania najbliższego otoczenia planowanego obiektu na rozkład poziomy hałasu, wybrano pięć istniejących przejść górnych. W pierwszej kolejności przeanalizowano klimaty akustyczne przy hipotetycznych takich samych wartościach natężenia ruchu i udziałów procentowych ruchu ciężkiego u_c oraz przy zróżnicowanych warunkach biotycznych i abiotycznych. Przyjęto w każdym przypadku następujące warunki brzegowe: zróżnicowanie wysokościowe terenu, kompleks leśny, zagajniki zieleni, pofałdowania terenu, zbiorniki retencyjne itd.; ww. warunki przedstawione są na ryc. 6.49.

A – teren rolniczy – niewielkie rzadkie zagajniki pojedynczych krzewów, droga na poziomie terenu



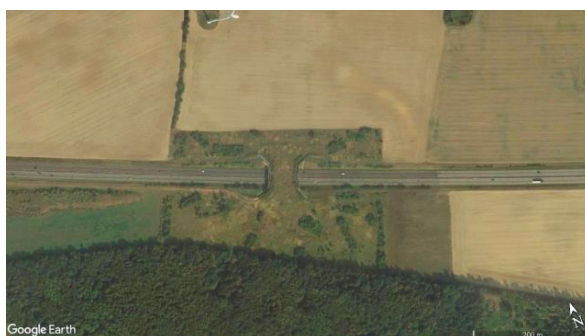
B – teren rolniczy – wokół projektowanego przejścia rozległy zagajnik z małymi drzewami i ze zróżnicowanymi krzewami



C – teren rolniczy o dużej deniwelacji terenu, z licznymi małymi zagajnikami i z niewielkim kompleksem leśnym na północy (duży zbiornik retencyjny w półn.-zach. części)



D – otoczenie bardzo zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny i wały, a po północnej stronie teren rolniczy o niewielkiej deniwelacji



E – otoczenie nieznacznie zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny z niewielkimi polanami, a po północnej stronie niewielki kompleks leśny, z gęstymi wielorzędowymi nasadzeniami na krawężniach, dzielący teren rolniczy o średniej deniwelacji



Ryc. 6.49. Zdjęcia satelitarne przyjętych do analiz obiektów o zróżnicowanym zagospodarowaniu najbliższego otoczenia i o zróżnicowanej topografii terenu

Źródło: zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

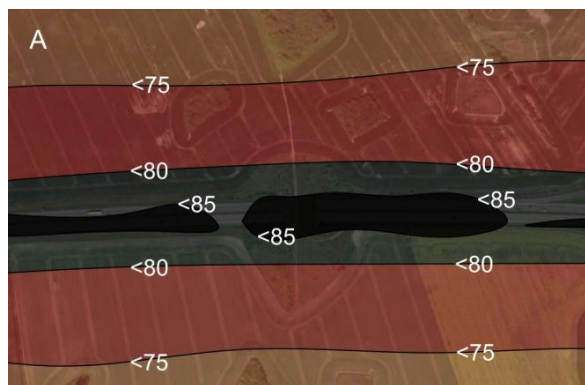
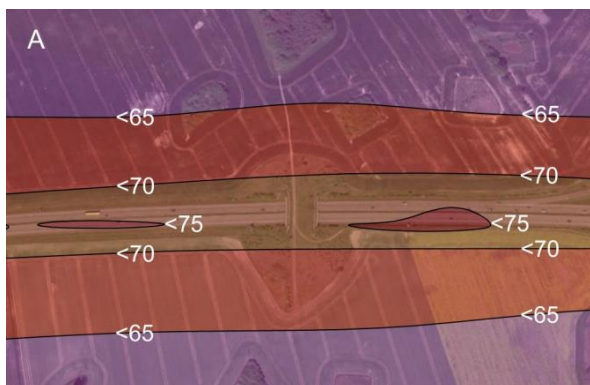
We wszystkich analizowanych przypadkach hipotetycznie również założono, że droga jest usytuowana na poziomie terenu i nie ma jeszcze projektowanego obiektu. Opracowane mapy akustyczne przedstawiono na ryc. 6.50. Jako tło każdego analizowanego przejścia wykorzystano zdjęcia satelitarne Google Earth najbliższego otoczenia. Zgodnie z założeniami mapy akustyczne opracowano przy dwóch hipotetycznych wartościach godzinowego natężenia ruchu i udziałów procentowych ruchu ciężkiego u_c , zestawiając je odpowiednio po lewej i prawej stronie ryc. 6.50.

Analiza rozkładu hałasu drogowego, przy hipotetycznym założeniu lokalizacji drogi na poziomie otaczającego terenu (ryc. 6.50), wykazała, że wpływ na rozkład hałasu drogowego, oprócz godzinowego natężenia ruchu, mają zarówno deniwelacja otoczenia, jak i istniejące zagajniki oraz kompleksy leśne. Charakterystyczne jest także to, że udział procentowy ruchu ciężkiego u_c przy zróżnicowanym otoczeniu drogi ma mniejszy wpływ na rozkład poziomy hałasu na mapie akustycznej niż godzinowe natężenie ruchu.

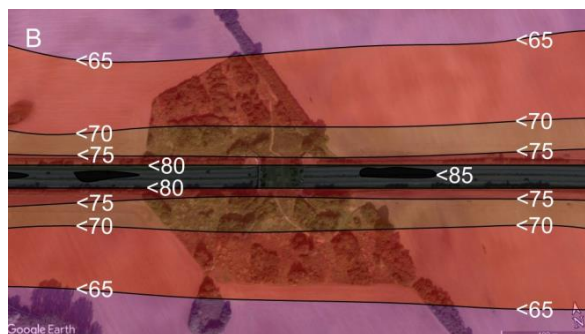
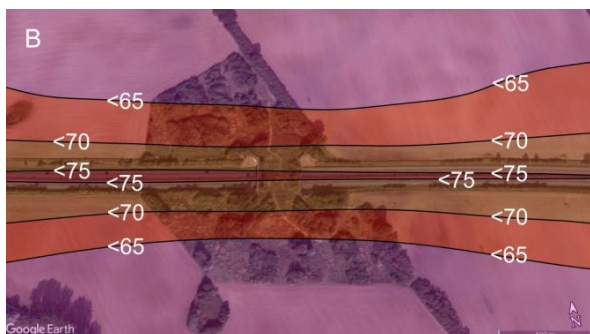
a) przy natężeniu ruchu 1500 P/h i $u_c = 11\%$

b) przy natężeniu ruchu 2600 P/h i $u_c = 2\%$

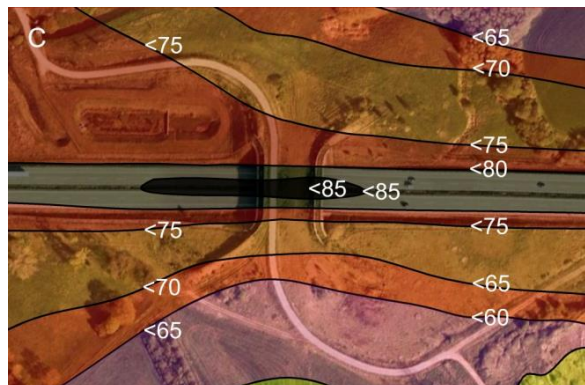
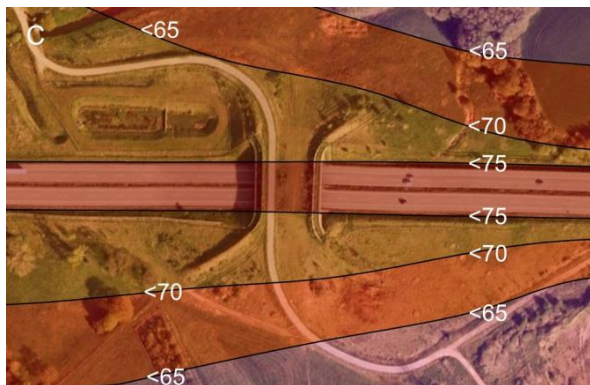
A – teren otwarty rolniczy; niewielkie rzadkie zagajniki pojedynczych krzewów



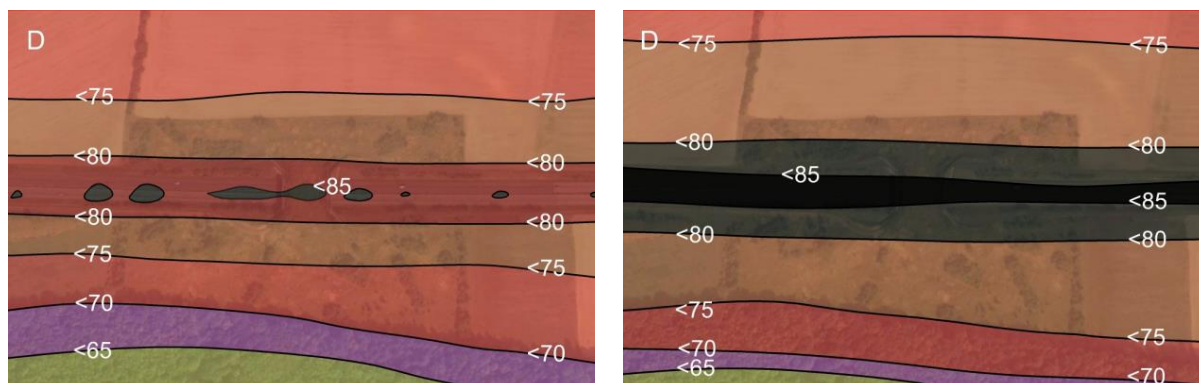
B – teren otwarty rolniczy; wokół projektowanego przejścia rozległy zagajnik z małymi drzewami i ze zróżnicowanymi krzewami



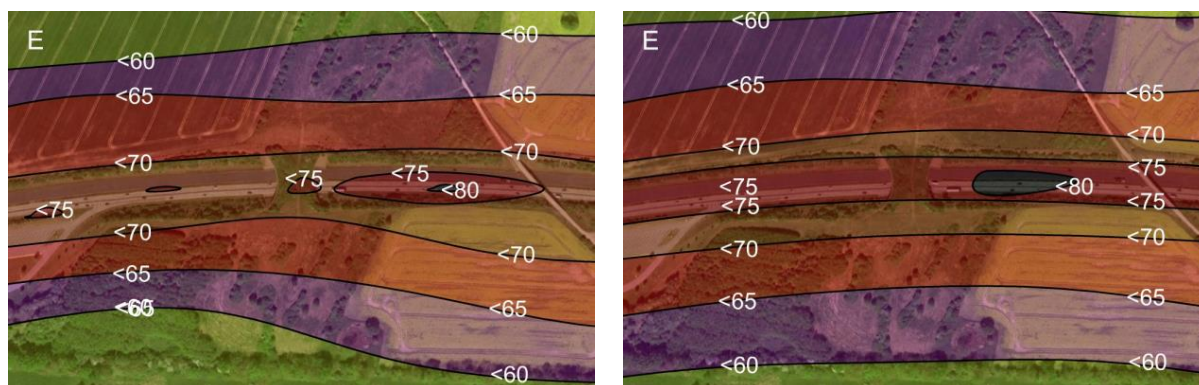
C – teren rolniczy o dużej deniwelacji terenu, z licznymi zagajnikami i z niewielkim kompleksem leśnym na północy



D – otoczenie bardzo zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny, a po północnej stronie otwarty teren rolniczy o niewielkiej deniwelacji



E – otoczenie nieznacznie zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny z niewielkimi polanami, a po północnej stronie niewielki kompleks leśny otwarty, dzielący teren rolniczy o średniej deniwelacji



Ryc. 6.50. Rozkład poziomy hałasu wokół autostrady usytuowanej na poziomie otaczającego terenu. Wartości hałasu na izofonach podano w dB(A)

Źródło: tło map akustycznych stanowią zdjęcia satelitarne z Google Earth.

Z analizy rozkładu izolinii wynika, że większe zagajniki leśne również mają wpływ na rozkład hałasu drogowego (przykład B), choć znacznie mniejszy niż nawet niewielkie kompleksy leśne (przypadki C, D i E). Charakterystyczne jest także to, że zróżnicowane pod względem deniwelacji terenu najbliższe otoczenie drogi może również znacząco wpływać na rozkład hałasu drogowego (przypadek C).

6.9.3. Wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania otoczenia na klimat akustyczny wokół drogi usytuowanej w wykopie

W odniesieniu do obiektów analizowanych w rozdz. 6.9.1 przeprowadzono również porównanie klimatu akustycznego, przy hipotetycznych tych samych wartościach godzinowego natężenia ruchu i udziału procentowego ruchu ciężkiego u_c , przy usytuowaniu drogi tym razem w wykopie i przy hipotetycznym nadal braku projektowanego obiektu.

Założono, że na terenie rolniczym najgłębszy wykop będzie znajdował się w miejscu planowanego obiektu – zob. przypadki A i B na ryc. 6.51. W przypadkach C, D i E uwzględniono istniejące różnice wysokościowe najbliższego otoczenia drogi. We wszystkich jednak przypadkach założono hipotetyczny wykop o największej głębokości tylko w miejscu planowanego obiektu, co oznacza, że głębokość wykopu była wzdłuż drogi różna, osiągając największe wartości w najbliższym otoczeniu obiektu.

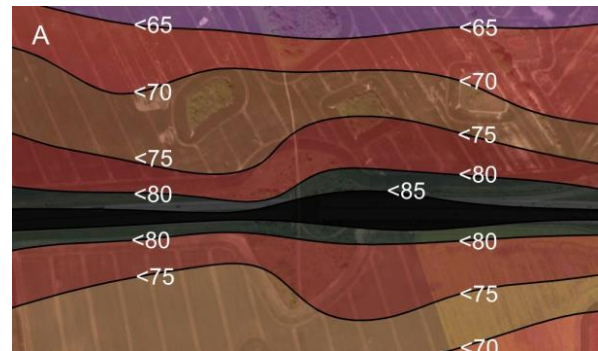
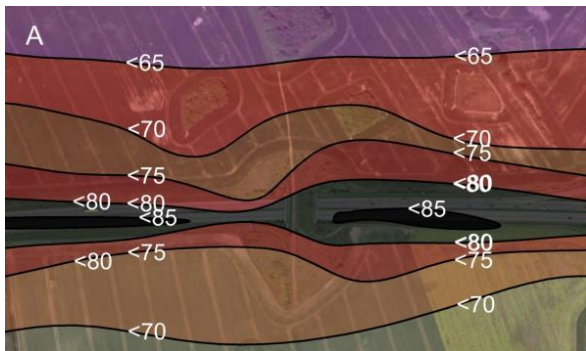
Opracowane mapy akustyczne przedstawiono na ryc. 6.51. Jako tło każdego analizowanego przejścia wykorzystano wspomniane wcześniej zdjęcia satelitarne najbliższego otoczenia danego obiektu.

W przypadku usytuowania drogi w wykopie, przy tych samych założeniach jak w przypadku lokalizacji drogi na poziomie otaczającego terenu, otrzymano większą kumulację hałasu w obrębie najgłębszego wykopu i bardzo duże zróżnicowanie rozkładu izolinii w otoczeniu drogi (ryc. 6.51). Różnice w zagospodarowaniu otoczenia drogi pomiędzy przypadkiem A a przypadkiem B wskazują, że każdy zagajnik z dużym zróżnicowaniem nasadzeń istotnie oddziałuje na rozkład poziomy hałasu. Również występowanie kompleksów leśnych po jednej stronie drogi (przypadki C i D) czy po obu stronach drogi (przypadek E) bardzo silnie wpływa na rozkład hałasu drogowego w jej otoczeniu.

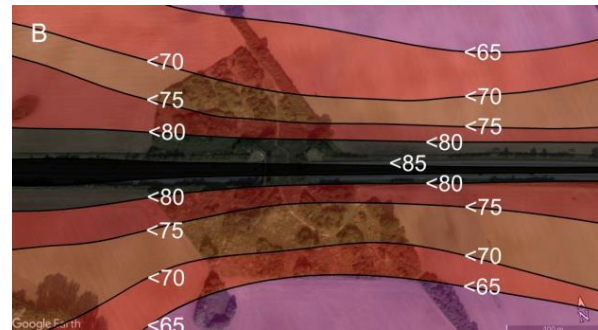
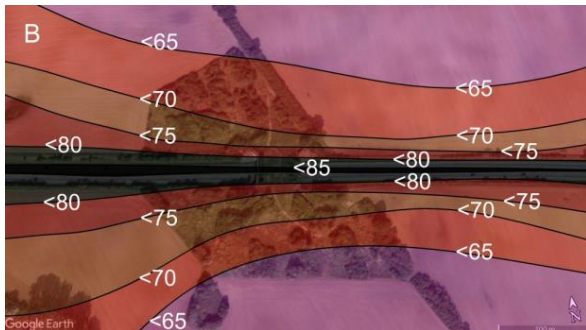
a) przy natężeniu ruchu 1500 P/h i $u_c = 11\%$

b) przy natężeniu ruchu 2600 P/h i $u_c = 2\%$

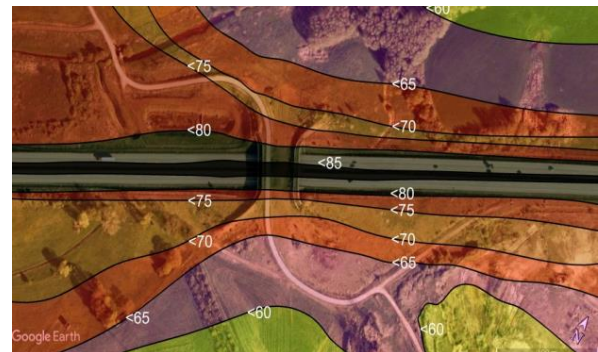
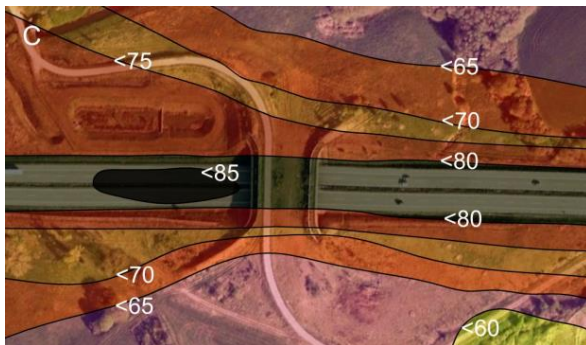
A – teren otwarty rolniczy; niewielkie rzadkie zagajniki pojedynczych krzewów



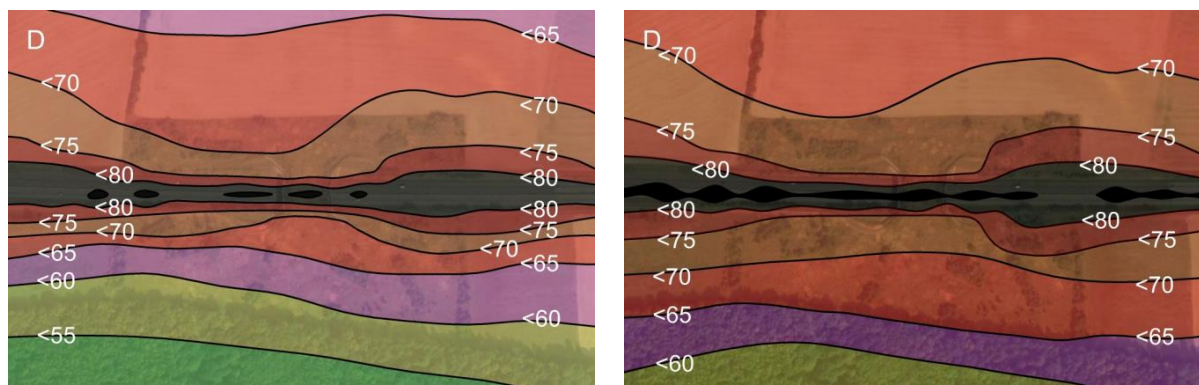
B – teren otwarty rolniczy; wokół projektowanego przejścia rozległy zagajnik z małymi drzewami i ze zróżnicowanymi krzewami



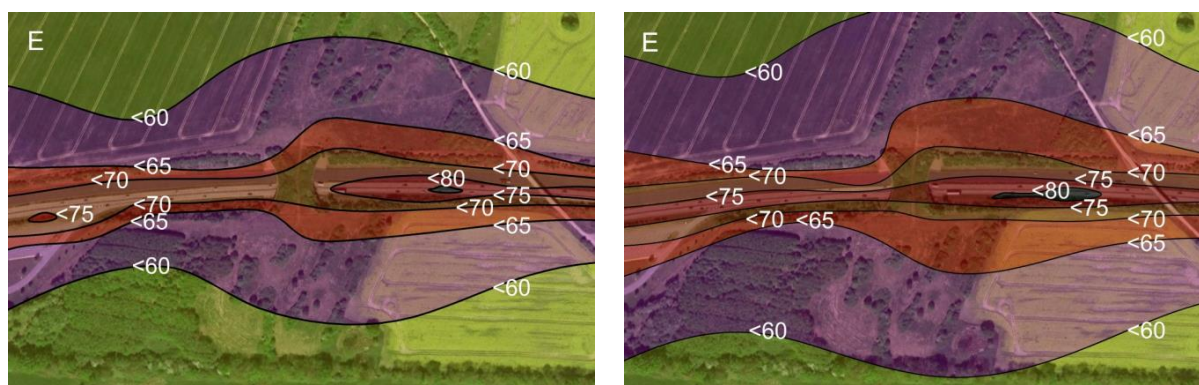
C – teren rolniczy o dużej deniwelacji terenu, z licznymi zagajnikami i z niewielkim kompleksem leśnym na północy



D – otoczenie bardzo zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny, a po północnej stronie otwarty teren rolniczy o niewielkiej deniwelacji



E – otoczenie nieznacznie zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny z niewielkimi polanami, a po północnej stronie niewielki kompleks leśny otwarty, dzielący teren rolniczy o średniej deniwelacji



Ryc. 6.51. Rozkład poziomy hałasu wokół autostrady usytuowanej w wykopie. Wartości hałasu na izofonach podano w dB(A)
Źródło: tło map akustycznych stanowią zdjęcia satelitarne z Google Earth.

Drugim bardzo charakterystycznym czynnikiem, mającym zasadniczy wpływ na rozkład hałasu drogowego, są kompleksy leśne (przypadki C, D i E). Jeśli kompleks leśny jest duży i jeśli jest równoległy usytuowany do drogi, to oddziałuje on podobnie jak wysoki ekran (przypadek D). Natomiast jeśli kompleks leśny jest usytuowany poprzecznie w stosunku do drogi (przypadki C i E), to wpływa „przecinająco” na ukształtowanie się izolinii.

6.9.4. Wpływ ogólnych czynników i rodzaju zagospodarowania otoczenia na klimat akustyczny wokół drogi usytuowanej w wykopie i na wybudowanym obiekcie z ekranami

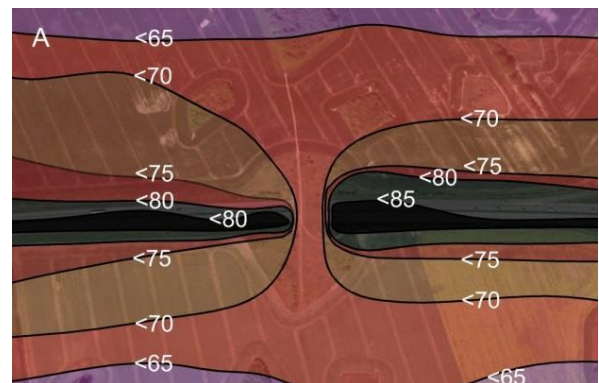
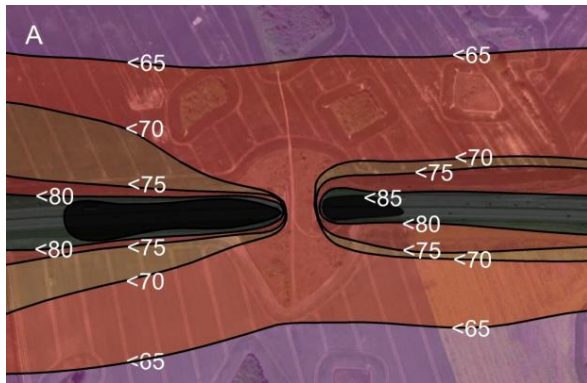
W odniesieniu do obiektów, analizowanych w rozdz. 6.9.1 i 6.9.2, przeprowadzono również porównanie klimatu akustycznego, przy tych samych hipotetycznie założonych wartościach godzinowego natężenia ruchu i udziału procentowego ruchu ciężkiego u_c oraz przy usytuowaniu drogi w pobliżu obiektu w wykopie o głębokości ok. 7 m. Opracowane mapy akustyczne przedstawiono na ryc. 6.52.

Jako tło każdego analizowanego przejścia wykorzystano zdjęcia satelitarne najbliższego otoczenia danego obiektu.

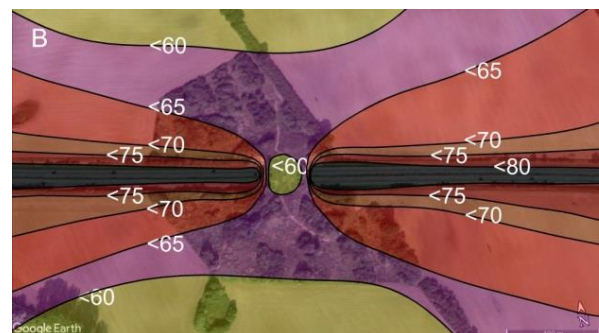
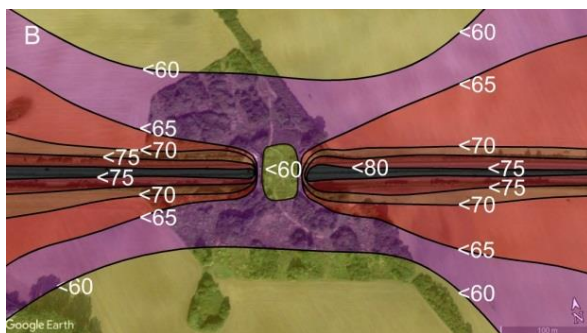
a) przy natężeniu ruchu 1500 P/h i $u_c = 11\%$

b) przy natężeniu ruchu 2600 P/h i $u_c = 2\%$

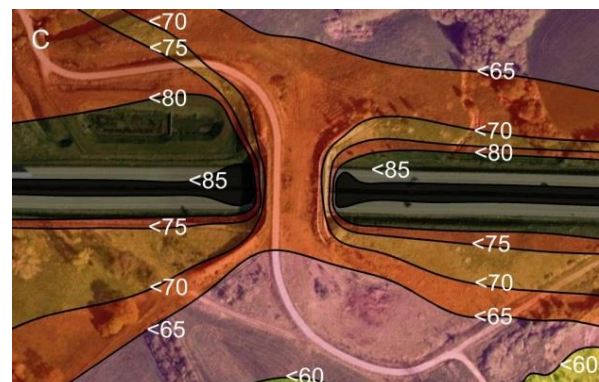
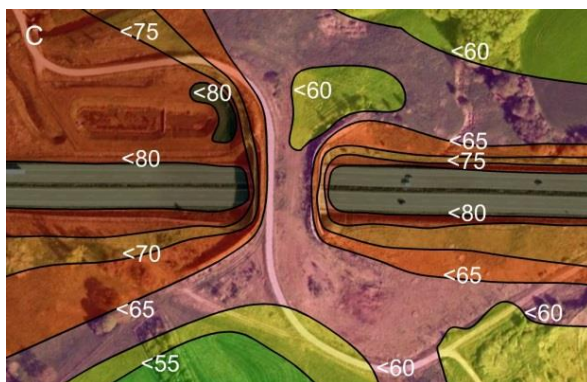
A – teren otwarty rolniczy; niewielkie rzadkie zagajniki pojedynczych krzewów



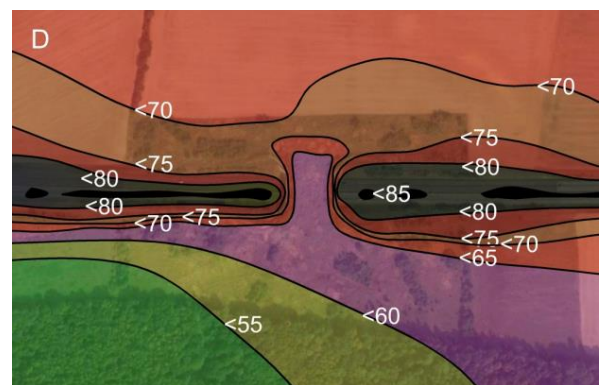
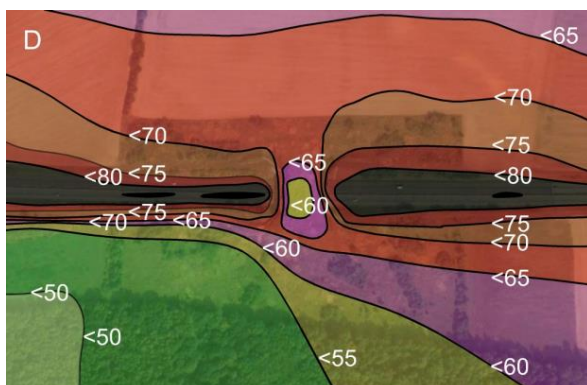
B – teren otwarty rolniczy; wokół projektowanego przejścia rozległy zagajnik z małymi drzewami i ze zróżnicowanymi krzewami



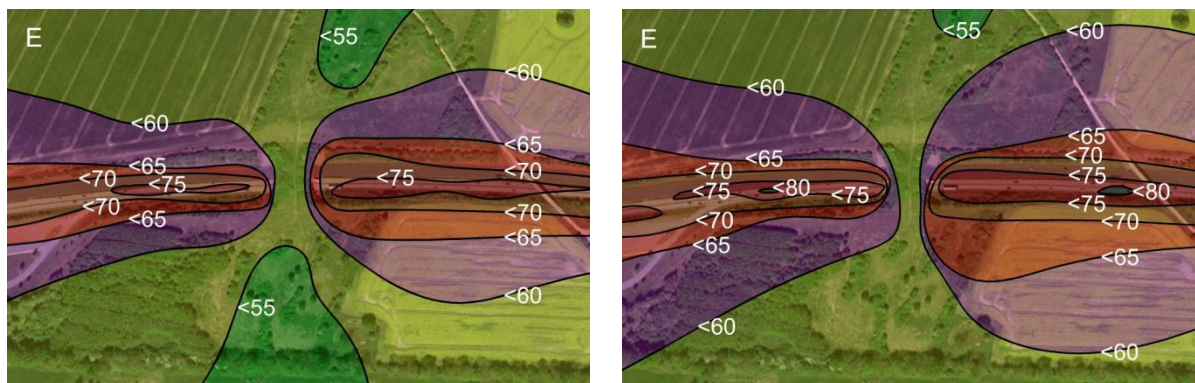
C – teren rolniczy o dużej deniwelacji terenu, z licznymi zagajnikami i z niewielkim kompleksem leśnym na północy



D – otoczenie bardzo zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny, a po północnej stronie otwarty teren rolniczy o niewielkiej deniwelacji



E – otoczenie nieznacznie zróżnicowane po obu stronach drogi; po południowej stronie duży kompleks leśny z niewielkimi polanami, a po północnej stronie niewielki kompleks leśny otwarty, dzielący teren rolniczy o średniej deniwelacji



Ryc. 6.52. Rozkład poziomu hałasu wokół autostrady usytuowanej w wykopie i przy założeniu hipotetycznym wybudowanego obiektu. Wartości hałasu na izofonach podano w dB(A)

Źródło: tło map akustycznych stanowią zdjęcia satelitarne z Google Earth.

Przy założeniu lokalizacji drogi w wykopie i na wybudowanym obiekcie fala dźwiękowa nie ulega rozproszeniu, jak w przypadkach opisanych w rozdz. 6.9.1 i 6.9.2, a jest pochłaniana w dużej części przez skarpy wykopu i przede wszystkim przez skarpy przyczółków z posadzonymi krzewami. W analizach przyjęto również w przypadku każdego obiektu właściwe dane o istniejącym ekranie, przede wszystkim dotyczące jego wysokości i długości oraz ewentualnych wałów ziemnych i ich wielkości.

W przypadku A wyjątkowo założono istniejącą lokalizację drogi na poziomie terenu i uformowanie obiektu wyniesionego ponad drogą, czyli nie w wykopie, przy bardzo krótkich i stromych skarpach oraz bardzo krótkich ekranach betonowych kończących się w linii przyczółków. Strefa migracji obsiana jest trawą, podobnie jak na istniejącym obiekcie.

W pozostałych przypadkach przyjęto istniejące warunki usytuowania drogi w wykopie, odnotowując w programie odpowiednie deniwelacje terenu, wały ziemne, zagajniki oraz kompleksy leśne. Analiza rozkładu hałasu drogowego wykazała (ryc. 6.52), że usytuowanie drogi w wykopie i wybudowany obiekt wpływa istotnie na charakterystyczny przebieg izolinii hałasu oraz że nastąpiło zwiększenie hałasu w okolicy krawędzi obiektu i skarp przyczółków ze względu na zjawisko pogłosu powstające pod płytą obiektu, co wpływa istotnie na otrzymanie dużej kumulacji izolinii po obu stronach obiektu.

Istniejące ekrany, zaznaczone w programie przy tworzeniu mapy akustycznej na obiektach B, C, D i E, wpłynęły istotnie na zmniejszenie hałasu drogowego w strefie najścia na obiekt – zarówno od strony lasu, jak i pól uprawnych. Na redukcję poziomu hałasu na powierzchni najścia i przejścia miały dodatkowy wpływ zarówno ekrany, jak i wały ziemne. Charakterystyczny wpływ ekranów i ich przedłużenia w postaci wałów ziemnych jest szczególnie zauważalny w przypadku obiektu C, na którym w każdej jego części są zastosowane bardzo zróżnicowane pod względem długości ekrany i wały.

W przypadku obiektu D zastosowano po zachodnio-południowej stronie drogi szerokie i wysokie wały ziemne, co znacznie wpłynęło na zmniejszenie hałasu drogowego w najbliższym otoczeniu drogi. A w przypadku obiektu E zastosowano na przejściu, oprócz ekranu, również wały ziemne bogato zagospodarowane zielenią. Analiza porównawcza wyników rozkładu hałasu, przedstawiona na ryc. 6.52, potwierdza zakładane determinanty sformułowane w tab. 6.2 w rozdz. 6.4.

6.9.5. Podsumowanie i zalecane do zastosowania elementy zagospodarowania terenu w strefie najścia i dojścia

Reasumując powyższe, można stwierdzić (tab. 6.3), że przejścia górne najlepiej jest sytuować ponad drogą zlokalizowaną w wykopie, tj. na wysokości otaczającego terenu, oraz że skuteczne jest stosowanie w strefie najść wałów ziemnych, o wysokości 2–3 m, zarówno przy najściu od strony lasu, jak i pól uprawnych. Przy czym wały ziemne powinny być szczelnie połączone z ekranem.

Tab. 6.3. Zalecane do zastosowania elementy zagospodarowania terenu w strefie najścia i dojścia

Ilustracja graficzna zaleceń	Zalecenia
<p>Na terenie rolniczym wał ziemny należy stosować wzdłuż strefy naprowadzająco-osłonowej</p> <p>Na terenie leśnym wał ziemny należy stosować, aż do granicy lasu</p> <p>Jeżeli wał ziemny ≥ 50 m, to można zastosować tylko nasadzenia na skarpie przyczółku od strony jezdni</p> <p>Jeżeli wał ziemny < 50 m, to należy zastosować gęste obustronne nasadzenia i dodatkowe zagajniki</p>	<p>usytuowanie drogi w wykopie, ze zróżnicowanymi pod względem rodzajów i wysokości krzewami posadzonymi na skarpach wykopu, w pobliżu obiektu (ryc. 3.95)</p> <p>bogato zagospodarowane skarpy przyczółków zróżnicowanymi pod względem rodzajów i wysokości krzewami (ryc. 4.8, 4.12)</p> <p>zastosowanie półki pomiędzy krawędzią obiektu a ekranem z uformowanymi niewysokimi wałami ziemnymi i posadzonymi krzewami opornymi na suszę, mróz i zanieczyszczenia drogowe (ryc. 4.11, 6.45, 6.46)</p> <p>ekran, wysunięty poza przyczółek co najmniej na długości 15 m i odgięty pod kątem 45° od osi podłużnej przejścia, szczelnie połączony z wałem ziemnym wysokości 2–3 m, uformowanym na długości min. 50 m i odgiętym pod kątem 45° od osi podłużnej przejścia (ryc. 4.6, 4.7, 6.12)</p> <p>na terenach rolniczych oraz przy większej odległości kompleksu leśnego od drogi stosowanie obustronnych wałów ziemnych równoległych do drogi, z ziemi uzyskanej z wykopu (ryc. 6.6)</p> <p>w przypadku bliskiej odległości kompleksu leśnego od drogi doprowadzenie odgiętych od ekranu wałów ziemnych do krawędzi lasu (ryc. 3.25d, 3.33, 3.34, 4.84) lub uformowanie ich w linii falistej (ryc. 4.6, 4.7)</p>

Oznaczenia: A – teren leśny, B – teren rolniczy z różną topografią najbliższego otoczenia i krótkim wałem ziemnym, C – teren rolniczy płaski, z nielicznymi zagajnikami zieleni i możliwym uformowaniem długiego wału ziemnego, D – teren rolniczy płaski, pozbawiony zieleni (przeźren otwarta).

We wszystkich analizowanych przypadkach otrzymano potwierdzenie, że wały ziemne, stanowiące przedłużenie ekranów, są istotnym elementem przyczyniającym się do znacznego wyciszenia terenu dojścia, jak i terenu samego przejścia, czyli do zapewnienia zwierzętom odpowiedniego mikroklimatu, i w konsekwencji lepszej funkcjonalności danego przejścia.

Ponadto wały ziemne tworzą naturalną osłonę od spalin i stanowią istotną przeszkodę przeciwolśnieniową. W danym przypadku decydującym parametrem rozkładu hałasu okazało się również godzinowe natężenie ruchu, usytuowanie drogi w wykopie, wybudowany ekran i istniejące wały ziemne.

W tab. 6.3 przedstawiono graficznie zróżnicowane zagospodarowanie możliwe do zastosowania w różnych warunkach biotycznych i abiotycznych najbliższego otoczenia przejścia. W ćwiartce A przedstawiono wały ziemne doprowadzone do krawędzi lasu; w ten sposób zostanie przerwana propagacja hałasu w strefie najścia i dojścia. Bardzo pomocne może okazać się w tym także bogate zagospodarowanie skarp przyczółków. W ćwiartce B przedstawiono przypadek wałów ziemnych krótszych niż 50 m, szczelnie połączonych z ekranem. W tym przypadku zalecane jest zastosowanie od strony przejścia licznych nasadzeń. Szczególnie przydatne może okazać się posadzenie rokitnika pospolitego (*Hippophae rhamnoides*), gdyż doskonale wytłumia hałas drogowy. W ćwiartce C przedstawiono zalecany wał ziemny,

o długości min. 50 m, obsiany trawą, szczelnie połączony z ekranem i odgięty pod kątem 45° od osi podłużnej przejścia. W danym przypadku zalecane jest zadbanie o gęste nasadzenia w rejonie skarp przyczółków, gdyż uzyska się w ten sposób przerwanie propagacji hałasu i pogłosu. W ćwiartce D przedstawiono wał ziemny wybudowany równoległe do osi drogi, uformowany z gruntu uzyskanego z wykopu. Na podstawie analizy ostatnio zastosowanych zagospodarowań obszaru przejść w Holandii stwierdzono, że takie rozwiązania spotyka się coraz częściej, co szczegółowo opisano w rozdz. 3 i 4.

6.10. Wpływ różnego rodzaju zagospodarowania powierzchni przejścia górnego na klimat akustyczny

Na klimat akustyczny ma również zasadniczy wpływ zagospodarowanie terenu przejścia zarówno w strefie migracji, jak i najścia. Do badań wybrano istniejące przejście charakteryzujące się bardzo zróżnicowanym zagospodarowaniem w każdej ćwiartce (ryc. 6.49 – przypadek C). Na wybranym do badań obiekcie w czasie corocznych wizyt terenowych naocznie potwierdzano jego dobrą funkcjonalność, gdyż wielokrotnie spotykano na nim sarny, daniele, zające i jeże, a także znajdowano tropy i ślady innych zwierząt [202, 203, 205].

Wybrane do analiz przejście górne ma nie tylko różnie zagospodarowane poszczególne strony obiektu, ale także różne warunki terenowe po obu stronach – zarówno drogi, jak i obiektu. Zagospodarowanie terenu przejścia zilustrowano na zdjęciu satelitarnym z Google Earth (ryc. 6.38 – stan zagospodarowania latem oraz ryc. 6.49 – przypadek C, stan zagospodarowania wiosną). Uwzględniając powyższe, można przeprowadzić analizę i opracować mapę akustyczną obiektu, przy różnym jego zagospodarowaniu i przy różnej wielkości godzinowego natężenia ruchu na autostradzie. Wyniki analizy rozkładu poziomego hałasu mogą być przydatne do projektowania zagospodarowania powierzchni na nowych obiektach, przy różnych warunkach biotycznych i abiotycznych najbliższego otoczenia przejścia.

Na powierzchni wybranego przejścia zespolonego znajduje się droga lokalna z nawierzchnią asfaltową, umożliwiającą przejazdy mieszkańcom pobliskich wsi. Natężenie ruchu na drodze na obiekcie jest znikome. W trakcie kilku dwugodzinnych wizji lokalnych w latach 2006–2014 odnotowano tylko pojedyncze przejazdy samochodów osobowych okolicznych mieszkańców.

Po stronie zachodnio-północnej obiektu zlokalizowany jest, równoległe do autostrady A20, duży zbiornik retencyjny (ryc. 6.53). Skarpa przy zbiorniku od strony autostrady ma wysokość ok. 2 m, a skarpa od zbiornika do wspomnianej wyżej drogi lokalnej ma wysokość zróżnicowaną w zakresie od 2 do 6 m. Przy czym wyższa skarpa znajduje się blisko obiektu, a niższa jest oddalona od obiektu. Po stronie zachodnio-południowej teren jest pofałdowany i porośnięty nieregularnie zaroślami o zmiennej wysokości. Bezpośrednio przy przyczółku skarpa drogi lokalnej stanowi istotną przeszkodę w propagacji fali dźwiękowej, odbijając zarówno hałas drogowy, jak i pogłos powstający pod płytą obiektu.



Ryc. 6.53. Zagospodarowanie terenu wokół autostrady, po stronie zachodniej przejścia górnego
Źródło: fot. Radosław Madej [129].

Po stronie wschodnio-południowej obiektu teren jest bardzo pofałdowany (ryc. 6.54), porośnięty nieregularnie zaroślami; znajdują się tu także pola uprawne. A po stronie wschodnio-północnej znajduje się niewielki obszar leśny, dochodzący do obiektu.



Ryc. 6.54. Zagospodarowanie terenu wokół autostrady, po stronie wschodniej górnego przejścia
Źródło: fot. Radosław Madej [129].

Na analizowanym obiekcie na przedłużeniu ekranu betonowego, wzdłuż najścia na obiekt, wybudowane są wały ziemne o wysokości 3 m (ryc. 6.55). Ekrany betonowe są wysokości ok. 3 m. Wały ziemne uformowane są na przedłużeniu ekranów i obsiane są trawą, z tą tylko różnicą, że wał po stronie zachodnio-północnej, ze względu na łuk lokalnej drogi asfaltowej, jest znacznie krótszy i niższy. Na półce za ekranem od strony jezdni są uformowane niewielkie pofałdowane wały ziemne, o wysokości ok. 0,5 m, nieregularnie porośnięte niewysokimi krzewami. Po stronie zachodniej obiektu, za ekranem, roślinność jest niska, słabo rozwinięta i przeważnie uschnięta (ryc. 6.55). Natomiast po stronie wschodniej obiektu niewysoki wał ziemny, uformowany za ekranem od strony jezdni, jest częściowo gęsto porośnięty nieregularnymi krzewami, miejscami o wysokości do 3 m (ryc. 6.56).



Ryc. 6.55. Zagospodarowanie wałów ziemnych na półce za ekranem betonowym (strona zachodnia)



Ryc. 6.56. Zagospodarowanie wałów ziemnych na półce za ekranem betonowym (strona wschodnia)

Przy przyczółkach obiektu znajdują się wały porośnięte trawą, stanowiące najścia na obiekt. Po stronie północno-zachodniej wał kończy się przed zakrętem drogi asfaltowej (ryc. 6.55) i w sumie jego długość wynosi ok. 7 m, a po stronie południowo-zachodniej wał ziemny ma długość ok. 50 m; wzdłuż niego, od strony obiektu, znajduje się droga gruntowa odchodząca od lokalnej drogi asfaltowej. Wał ziemny po stronie północno-wschodniej ma wysokość 3 m, a długość ok. 30 m (ryc. 6.56); po stronie południowo-wschodniej wysokość wału jest równa 3 m, a jego długość wynosi ok. 45 m. Wały ziemne i skarpy przyczółków są porośnięte jedynie trawą.

Wał ziemny na terenie przejścia, po stronie zachodniej, ma wysokość ok. 0,5–0,7 m, a na nim posadzone są różne rodzaje niewysokich drzew i krzewów (ryc. 6.57). Wśród posadzonych krzewów wyróżnić można m.in.: śliwę tarninę (*Prunus spinosa*), głóg dwuszyjkowy (*Crataegus laevigata*), kalinę koralową (*Viburnum opulus*) i leszczynę (*Corylus avellana*). Dodatkowo obszary pomiędzy nimi uzupełniono małymi krzewami porzeczki alpejskiej (*Ribes alpinum*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*).



Ryc. 6.57. Zagospodarowanie powierzchni analizowanego przejścia górnego
Źródło: fot. Radosław Maron [134].

Wał ziemny na terenie przejścia przy ekranie, po stronie wschodniej obiektu, jest niższy i ma słabo rozwinięte krzewy na prawie całej długości ekranu. Jedynie przy obu przyczółkach znajdują się gęste zagajniki. Po stronie północnej zróżnicowane pod względem wysokości i gatunków krzewy gęsto porastają częściowo nawet wał ziemny, a po stronie południowej bardzo gęste zagajniki z rokitnika pospolitego (*Hippophae rhamnoides*), o wysokości do 2 m, znajdują się na terenie najścia przed wałem ziemnym (ryc. 6.57).

Uwzględniając znaczne zróżnicowanie zagospodarowania powierzchni przejścia górnego, przeprowadzono na nim pomiary poziomu hałasu, przy dwóch różnych natężeniach ruchu na autostradzie. Jest dostępnych wiele programów do opracowywania map akustycznych. We wszystkich programach można podawać różne parametry brzegowe, choć głównym parametrem pozostaje godzinowe natężenie ruchu. Do analiz rozkładu hałasu wokół autostrady i wybranego przejścia jako tło wykorzystano zdjęcie satelitarne obiektu z programu Google Earth. W rozdz. 6.9 porównano rozkłady wartości hałasu wokół autostrady przy danych wartościach natężenia ruchu i hipotetycznym założeniu, że autostrada jest wybudowana na poziomie terenu, w wykopie, i wkomponowana w istniejący teren z wybudowanym obiektem (ryc. 6.50, 6.51, 6.52 – przypadek C). W danym przypadku rozkład poziomu hałasu wokół autostrady zależał głównie od godzinowego natężenia ruchu. Analiza otrzymanych map akustycznych wykazała, że przy płaskim terenie o poziomie hałasu na obiekcie głównie przesądza godzinowe natężenie ruchu, a mniejszy w danym przypadku wpływ ma udział procentowy ruchu ciężkiego *u.c.*

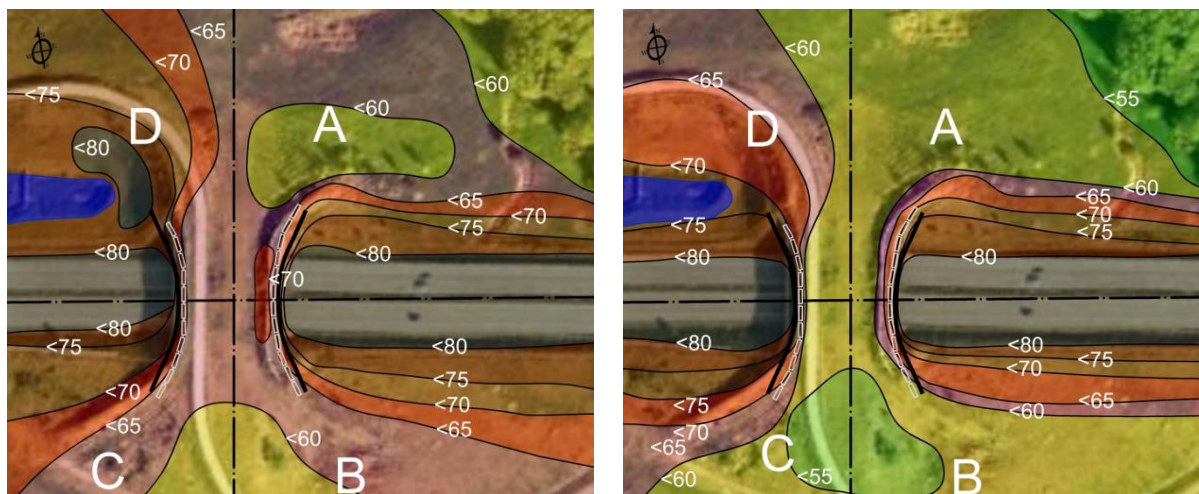
Kolejna analiza dotyczyła rozkładu wartości hałasu, z uwzględnieniem bardzo dużego zróżnicowania w zagospodarowaniu powierzchni obiektu. Przy opisanych powyżej parametrach brzegowych uwzględniono również zastosowane w rzeczywistości inne wysokości i długości wałów ziemnych oraz zagajniki. Ponieważ każda część przejścia górnego ma inne zagospodarowanie, zaproponowano w analizie podział obiektu na cztery ćwiartki, ponumerowane zgodnie z ruchem wskazówek zegara (ryc. 6.58).

Rozpatrując kolejno rozkłady wartości hałasu w poszczególnych ćwiartkach obiektu, stwierdzono, że w ćwiartce A największy hałas dotyczy przestrzeni wykopu, z kumulacją przy skarpach przyczółku. Górna krawędź wykopu jest praktycznie granicą poziomu hałasu poniżej 70–75 dB(A). Przy najściu na obiekt, dzięki zastosowanemu wałowi ziemnemu i różnorodnych nieregularnych zagajników, uzyskano największe wyciszenie, przy różnych wielkościach godzinowego natężenia ruchu na autostradzie. Zwierzęta, wychodząc po ścieżce migracyjnej z dużego kompleksu leśnego, mają zapewnione na dojściu do obiektu prawie takie same warunki akustyczne jak w pobliskim lesie. Również klimat akustyczny najścia nie różni się zbytnio od

warunków na polanach leśnych. Zdecydowanie do mniejszego hałasu na terenie najścia przyczyniły się również różnego rodzaju rozłożyste krzewy.

a) przy natężeniu ruchu 1500 P/h i $u_c = 11\%$

b) przy natężeniu ruchu 1500 P/h i $u_c = 2\%$



Ryc. 6.58. Rozkład wartości hałasu na powierzchni obiektu, z uwzględnieniem różnego jej zagospodarowania. Wartości hałasu na izofonach podano w dB(A)

Źródło: tło map akustycznych stanowią zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

W ćwiartce B, z uwagi na bardzo pofałdowany teren i nieliczne małe zagajniki, inna jest propagacja fali dźwiękowej. Jediną przeszkodą w rozkładzie wartości hałasu są kolejne zróżnicowania wysokości terenu. W strefie dojścia zwierzęta docierają do przejścia, pokonując kolejne pofałdowania terenu. Na skarpie przyczółku, od strony autostrady, posadzone są nieliczne krzewy porzeczek alpejskiej (*Ribes alpinum*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*). Dzięki zastosowanemu wałowi ziemnemu i gęstym rozległym nasadzeniom rokitnika pospolitego (*Hippophae rhamnoides*) największe wyciszenie uzyskano w okolicy najścia (<55 dB(A)). W trakcie prowadzonych badań najczęściej w tym miejscu odnotowywano sarny i daniela, czekające lub obserwujące teren. Tutaj też odnotowano najwięcej śladów i tropów zwierząt. Prawdopodobnie bardzo gęste i rozległe nasadzenia rokitnika pospolitego przed wałem ziemnym, od strony najścia, przyczyniły się do tak dużego wyciszenia strefy najścia.

W ćwiartce C jedyną przeszkodą w rozkładzie hałasu w okolicy najścia na obiekt są nieliczne krzewy porzeczek alpejskiej (*Ribes alpinum*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*), posadzone na skarpie przyczółku, od strony autostrady, oraz obsiany jedynie trawą wysoki wał ziemny na przedłużeniu ekranu. W strefie dojścia zwierzęta docierają na przejście, pokonując nieliczne pofałdowania terenu i rzadkie nieregularne zagajniki, składające się z kilku drzew i krzewów. Głównie dzięki zastosowanemu wałowi ziemnemu uzyskano duże wyciszenie w strefie najścia (<55 dB(A)), jednak nie tak duże jak w ćwiartce B.

W ćwiartce D charakterystyczne są zbiornik retencyjny i łuk poziomy drogi asfaltowej bardzo ograniczający długość wału ziemnego wybudowanego na przedłużeniu ekranu. Na skarpie przyczółku, od strony autostrady, posadzono rzadkie nieliczne krzewy porzeczek alpejskiej (*Ribes alpinum*) i głogu jednoszyjkowego (*Crataegus monogyna*). Wał ziemny jest bardzo krótki. W strefie dojścia zwierzęta docierają do przejścia, pokonując otwartą przestrzeń z widoczną autostradą. Krótki wał ziemny i słabo zagospodarowana zielenią skarpa wykopu i przyczółku przyczynia się do zwiększonego hałasu – w granicach 65–70 dB(A) lub 70–80 dB(A) w bezpośrednim sąsiedztwie najścia, w zależności od godzinowego natężenia ruchu i udziału procentowego pojazdów ciężkich u_c . Mniejszy hałas notowano dopiero za lokalną drogą asfaltową zlokalizowaną na obiekcie. Znacznie lepszym rozwiązaniem byłoby zaplanowanie oddalenia łuku poziomego drogi lokalnej od ekranu i wału, tj. w głąb dojścia do obiektu, co umożliwiłoby wydłużenie wału ziemnego i posadzenie kilkunastu krzewów. W tej części strefy dojścia, najścia oraz powierzchni obiektu nie stwierdzono żadnych śladów ani tropów zwierząt.

Istotne znaczenie ma również zagospodarowanie powierzchni obiektu w bezpośrednim sąsiedztwie ekranu. Zdecydowanie mniejszy hałas notowano za ekranem od wschodniej strony autostrady, nad pasem dzielącym, gdzie na niewielkich wałach ziemnych, uformowanych na okalającej półce, posadzono zróżnicowane pod względem gatunków i wysokości krzewy (ryc. 6.56). W drugim przypadku, gdy od strony zachodniej na niewysokim wale ziemnym, uformowanym na półce za ekranem, od strony autostrady posadzono bardzo rzadko krzewy (ryc. 6.55), hałas, szczególnie nad pasem dzielącym, był większy.

Natomiast w strefie migracji, gdzie bezpośrednio przy zachodnim ekranie na niewysokim wale ziemnym znajdują się, zróżnicowane pod względem wysokości i gatunków, krzewy, redukcja hałasu ΔLeq jest znacznie większa, bowiem wynosi ponad 12 dB(A). Natomiast w przypadku rzadko posadzonych niewielkich krzewów przed wschodnim ekranem, na terenie obiektu bezpośrednio nad pasem dzielącym autostrady (ryc. 6.57), redukcja hałasu wynosi do 8,5 dB(A).

Porównując mikroklimat akustyczny w strefie najścia, w bezpośrednim sąsiedztwie przyczółku, stwierdzono, że w trzech analizowanych ćwiartkach obiektu (ryc. 6.58) do największego „wyciszenia” w strefie najścia przyczyniły się wały ziemne obsiane trawą, wybudowane na przedłużeniu ekranu, i przede wszystkim bardzo gęste i rozległe nasadzenia rokitnika pospolitego oraz pofałdowany teren na dojeździe do obiektu (ćwiartka B), a w drugiej kolejności wysoki wał ziemny, obsiany jedynie trawą, i pofałdowany teren na dojeździe do przejścia (ćwiartka C). W przypadku bliskości dużego kompleksu leśnego (ćwiartka A) przerwa pomiędzy wałem ziemnym i zagajnikami a kompleksem leśnym spowodowała, że poziom hałasu w strefie najścia, przy większym udziale pojazdów ciężkich, wynosi do 65 dB(A).

Gdy w pobliżu obiektu zlokalizowany jest zbiornik retencyjny, sugeruje się wydłużenie wału ziemnego poza granice skarp zbiornika i obsadzenie terenu od strony najścia nieregularnymi zagajnikami zróżnicowanych pod względem wysokości i gatunków krzewów. Pozostawienie terenu wokół zbiornika bez wałów ziemnych i zagajników prowadzi do nadmiernego wzrostu hałasu drogowego w strefie dojścia, co może mieć negatywny wpływ na funkcjonalność przejścia górnego (ryc. 6.58a).

Z analizy przeprowadzonych badań rozkładu wartości hałasu wzdłuż wybudowanych ekranów wynika, że najlepszym sposobem redukcji hałasu jest zastosowanie na półce za ekranem, od strony autostrady, niewielkich wałów ziemnych z gęstymi nasadzeniami zróżnicowanych pod względem wysokości i gatunków krzewów, szczególnie zagęszczonych bezpośrednio nad pasem dzielącym (ryc. 6.58). W strefie migracji zaleca się uformowanie wału ziemnego i posadzenie na nim dwurzędowo gęstych, zróżnicowanych pod względem gatunków i wysokości krzewów, co w konsekwencji ma przyczynić się do zwiększenia redukcji hałasu bezpośrednio na terenie przejścia i do znacznej poprawy jego funkcjonalności.

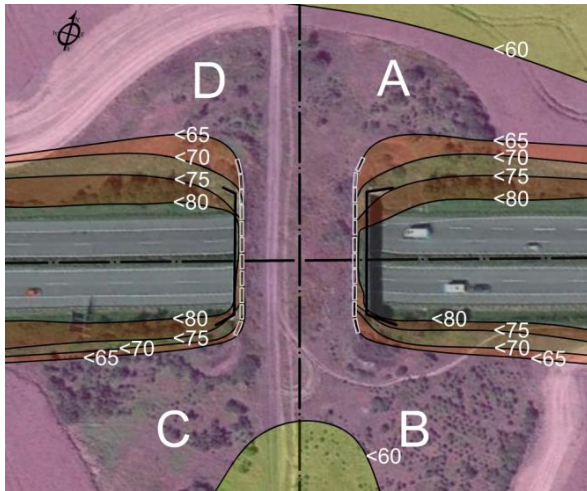
W celach porównawczych wpływu zagospodarowania terenu przejścia na klimat akustyczny wykonano pomiary poziomu hałasu drogowego na czterech pozostałych przejściach (ryc. 6.59 – obiekty A, B, D i E), przy nieznacznie zróżnicowanym godzinowym natężeniu ruchu i tym samym udziale procentowym ruchu ciężkiego u_c . Na ryc. 6.59 przedstawiono otrzymane rezultaty dotyczące klimatu akustycznego.

Analiza otrzymanych rozkładów wartości hałasu na mapach akustycznych wskazuje na niekorzystne warunki na przejściu górnym na terenie rolniczym i na otwartej przestrzeni z nielicznymi zagajnikami zlokalizowanym powyżej poziomu otaczającego przejście, przy usytuowaniu drogi na poziomie terenu (ryc. 6.59 – przejście A). W najściu i w strefie migracji odnotowano znacznie większy hałas drogowy, przy relatywnie tych samych wartościach godzinowego natężenia ruchu i udziału procentowego pojazdów ciężkich u_c .

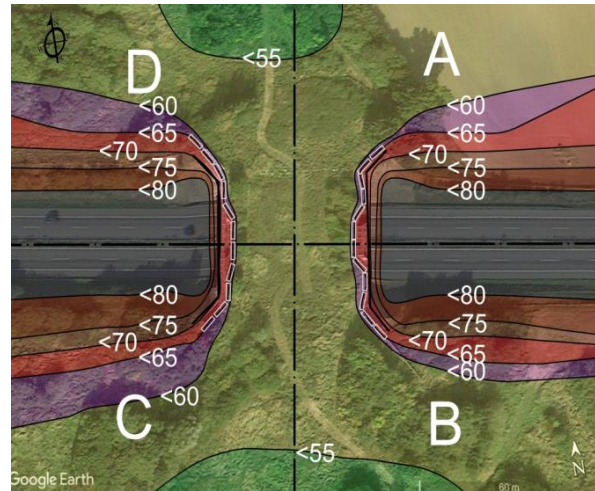
W przypadku B na przejściu zlokalizowanym na terenie rolniczym i otwartej przestrzeni (ryc. 6.49 – przejście B), przy usytuowaniu drogi w wykopie, w otoczeniu przejścia połączono rozporozszone zagajniki, wzbogacając je licznymi nasadzeniami (ryc. 4.12) i uzyskując tym samym spory obszar zagospodarowany zielenią. Zastosowanie zieleni i licznych krzewów zdecydowanie wpłynęło na zmniejszenie hałasu i przyjazny zwierzętom mikroklimat na przejściu (ryc. 6.59 – przejście B). Na przejściu zastosowane są ekrany drewniane z logią (ryc. 4.9), przy których uformowano nieregularne wały ziemne (w formie kopców) na przemian z niewielkimi zagajnikami. Badania pomiaru hałasu wykonano w godzinach rannych (od 9 do

11), co może wskazywać, że w czasie migracji zwierząt w nocy i rano osiągnięte warunki na przejściu są przyjazne zwierzętom i że sposób zagospodarowania terenu odpowiada zrównoważonemu projektowaniu przejść górnych.

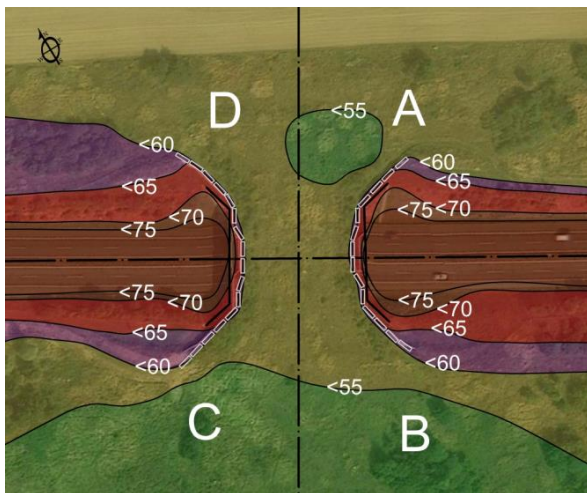
Przejście A – natężenie ruchu 1500 P/h i $u_c = 11\%$



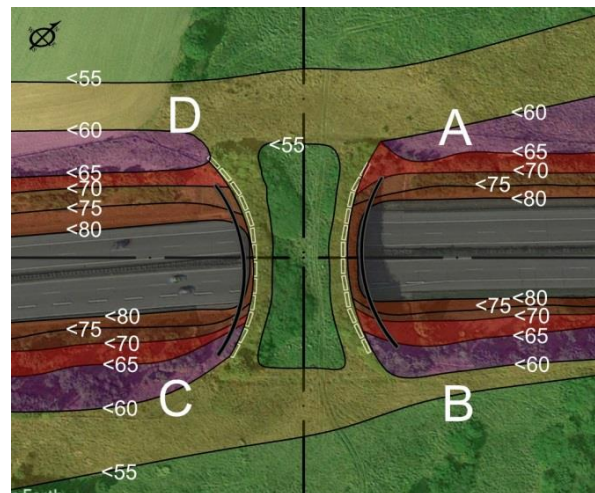
Przejście B – natężenie ruchu 900 P/h i $u_c = 11\%$



Przejście D – natężenie ruchu 900 P/h i $u_c = 11\%$



Przejście E – natężenie ruchu 1500 P/h i $u_c = 11\%$



Ryc. 6.59. Rozkład wartości hałasu na powierzchni obiektów różniących się zagospodarowaniem, przy zbliżonych godzinowych natężeniach ruchu i tym samym udziale procentowym pojazdów ciężkich u_c . Wartości hałasu na izofonach podano w dB(A)

Źródło: tło map akustycznych stanowią zdjęcia satelitarne z Google Earth [163].

Podobne warunki mikroklimatu osiągnięto na przejściu D (ryc. 6.59). Przejście wybudowano w terenie rolniczym; od strony północnej znajdują się pola uprawne i otwarta przestrzeń, a od strony południowej znajduje się kompleks leśny. W tym przypadku badania hałasu wykonano w późnych godzinach popołudniowych (od 17 do 19). Otrzymana mapa akustyczna również potwierdza skuteczność zastosowania ekranu drewnianego z logią i wałów ziemnych w formie kopców, zastosowanych na przemian z niewielkimi zagajnikami przed ekranem, od strony przejścia. Zasadniczy wpływ na rozkład hałasu mają kompleks leśny oraz szerokie i wysokie wały ziemne, uformowane równoległe do drogi, w strefie dojścia od strony lasu, co potwierdzają wartości hałasu przy dojściu do strony lasu ≤ 55 dB(A), a od strony pól uprawnych ≤ 60 dB(A).

Wpływ oddziaływania kompleksu leśnego na rozkład wartości hałasu na mapie akustycznej potwierdzają również wyniki otrzymane na przejściu E, zlokalizowanym pomiędzy dwoma kompleksami leśnymi (ryc. 6.59). W kompleksach leśnych na dojściu do obiektu notowano wartości hałasu w granicach 50–55 dB(A), a czasami poniżej 50 dB(A). Natomiast w strefie najścia odnotowane wartości hałasu znajdują się

w przedziale 55–60 dB(A). Jednak w strefie migracji, dzięki uformowanym obustronnym wałom ziemnym bogato zagospodarowanym zielenią (ryc. 3.94), odnotowano wartości hałasu znacznie mniejsze, czyli mniejsze niż 55 dB(A). Ponadto w danym przypadku bardzo bogato również zagospodarowano skarpy wykopu i przyczółków (ryc. 3.95). Można przypuszczać, że gdyby na analizowanym przejściu E wały ziemne uformowano również na przedłużeniu ekranów betonowych i gdyby doprowadzono je do granicy lasu, wartości hałasu na przejściu wynosiłyby do 50 dB(A). Istniejąca przerwa w nasadzeniach, pomiędzy linią przyczółków a krawędzią lasu, obsiana tylko trawą, niestety nie stanowi istotnej przeszkody dla propagacji fali dźwiękowej i dlatego w strefie najścia notowano wartości hałasu w granicach 55–60 dB(A).

6.11. Podsumowanie i zalecane do zastosowania elementy zagospodarowania terenu w strefie najścia i migracji na górnych przejściach dla zwierząt

Reasumując powyższe analizy rozkładów wartości hałasu na mapach akustycznych, charakteryzujących klimat akustyczny na przejściu górnym, w tab. 6.4 sformułowano zalecenia dotyczące zagospodarowania powierzchni w strefie najścia i migracji, przy zróżnicowanym otoczeniu przejścia i drodze usytuowanej w wykopie.

Tab. 6.4. Zalecane do stosowania elementy zagospodarowania terenu w strefie najścia i migracji

Charakterystyka otoczenia	Zalecenia
Teren otwarty rolniczy	W ramach zrównoważonego projektowania przejść górnych bardziej przyjaznych zwierzętom zaleca się zagospodarowanie zróżnicowanymi pod względem rodzajów i wysokości krzewami skarp wykopu w pobliżu obiektu i bardzo bogato nasadzenia, szczególnie na skarpach przyczółków (ryc. 4.8)
	W zależności od typu zastosowanego ekranu zaleca się formowanie wałów ziemnych, o wysokości 2–3 m, szczelnie połączonych z ekranem, o długości min. 50 m, odchylonych pod kątem 45° od osi podłużnej przejścia (ryc. 4.7, 6.18 i 6.22)
	Przy projektowaniu konstrukcji obiektu zaleca się zastosowanie półki pomiędzy krawędzią obiektu a ekranem betonowym, na której powinny być uformowane niewysokie wały ziemne i posadzone krzewy odporne na suszę, mróz i zanieczyszczenia drogowe (ryc. 6.55 i 6.56)
	Na istniejących przejściach z ekranem betonowym zaleca się w strefie migracji formowanie niewysokich wałów ziemnych, z dwurzędowymi gęstymi nasadzeniami krzewów odpornych na suszę, mróz i zanieczyszczenia drogowe
	Przy planowanym ekranie drewnianym zaleca się zastosowanie loggii, w której będą posadzone krzewy odporne na suszę, mróz i zanieczyszczenia drogowe (ryc. 4.9, 6.23 i 6.24)
	Przy ekranie drewnianym zaleca się, w strefie najścia i migracji, formowanie nieregularnych wałów ziemnych w formie kopców, o wysokości do 1,5 m, na przemian z niewielkimi zagajnikami
Teren z kompleksem leśnym	W przypadku bliskiej odległości krawędzi lasu od drogi zaleca się doprowadzenie odgiętych wałów ziemnych do krawędzi lasu, szczelnie połączonych z ekranem (ryc. 3.33, 3.34 i 4.84). W przypadku niewielkiej odległości krawędzi lasu sugeruje się, wzorem istniejących rozwiązań o dobrej potwierdzonej skuteczności, formowanie wałów ziemnych w linii falistej (ryc. 4.6 i 4.7) lub parabolicznej (ryc. 4.3)
	W przypadku zastosowania ekranów drewnianych, co jest popularnym rozwiązaniem stosowanym często w Polsce, można je przedłużyć do krawędzi lasu, ale można również zastosować nieregularne wały ziemne zagospodarowanie zielenią. Zastosowane wówczas nasadzenia znacznie jednak zwiększą koszty inwestycyjne

Podsumowanie

W niniejszej monografii przedstawiono problemy zrównoważonego projektowania górnych przejść przyjaznych zwierzętom na podstawie kwerendy publikacji naukowych, wniosków z badań i wytycznych z Australii, Danii, Francji, Holandii, Hiszpanii, Irlandii, Kanady, Niemiec, ze Stanów Zjednoczonych, Szwecji, z Wielkiej Brytanii i Polski. Analizy przeprowadzone przez autorkę, dotyczące kształtu obiektu, parametrów i szczegółów budowlanych oraz zagospodarowania terenu przejść habitatowych wraz z ich otoczeniem, przedstawiono na fotografiach w sumie 140 zrealizowanych obiektów. Przedstawione w monografii wyniki obserwacji trwałości nasadzeń (zob. rozdz. 5) i rezultaty badań klimatu akustycznego (zob. rozdz. 6) dotyczą kilkunastu już zrealizowanych przejść górnych. W monografii wykorzystano łącznie 152 zagranicznych i 90 krajowych publikacji naukowych, opracowań przeprowadzonych badań naukowych, raportów, artykułów przeglądowych, referatów konferencyjnych, opracowań graficznych, wytycznych i innych publikacji, w tym 222 pozycje opublikowane po roku 2000.

W rozważaniach zawartych w niniejszej monografii za podstawę przyjęto COST 341 [42], który – zgodnie ze strategią Conference of European Directors of Roads CEDR w Kopenhadze w 2011 r. [127] – jest europejskim podręcznikiem służącym do identyfikacji konfliktów i opracowywania rozwiązań proekologicznych dotyczących szeroko pojętej zrównoważonej integracji sieci drogowej i środowiska. W publikacji [127], odnosząc się do propagowania i uzupełniania wiedzy zawartej w podręczniku COST 341 [42], zawarto m.in. konkluzje ustaleń:

- Rady Europejskiej z 26 marca 2010 r. [127] w zakresie zrównoważonej ochrony różnorodności biologicznej i pilnej potrzeby odwrócenia utrzymujących się trendów jej utraty w krajach Unii Europejskiej,
- Europejskiej Rady Ministrów Środowiska z 21 czerwca 2011 r. [127] w zakresie strategii ochrony przyrody, która powinna być podstawą budowania zrównoważonej Europy.

W związku z powyższym autorka ma nadzieję, że treści zawarte w niniejszej monografii mogą stanowić uzupełnienie tej wiedzy w zakresie: zrównoważonego projektowania przejść habitatowych, z uwzględnieniem rozkładu hałasu i uzyskanego na nich mikroklimatu, a także doboru nasadzeń uwzględniających rodzime gatunki roślinności, przyczyniając się do lepszego ich funkcjonowania.

W rozdziałach 2, 3 i 4 przedstawiono główne czynniki ekologiczne, budowlane i środowiskowe związane ze zrównoważonym projektowaniem nowych obiektów i zagospodarowaniem terenu w strefie dojścia, najścia i migracji na już istniejących obiektach. Zgodnie z rekomendacjami zawartymi w publikacji [127], sformułowanymi na ww. konferencji, dotyczącymi promowania treści zawartych w COST 341 [42], w niniejszej monografii omówiono wiele problemów poruszanych w ww. podręczniku, niejednokrotnie wzbogacając je o: aktualne rozwiązania, przykłady istniejących obiektów, realizacje techniczne systemów odwodnieniowych lub poszczególnych elementów zagospodarowania przejść habitatowych. Monografię wzbogacono wieloma fotografiami i ilustracjami w celu jak najlepszego przekazania Czytelnikowi zawartych w niej treści.

W rozdziale 5 przedstawiono problem zagospodarowania zielenią terenu przejść górnych, z uwzględnieniem różnych gatunków zwierząt migrujących na przejściach. Zalecenia dotyczące nasadzeń sformułowano na podstawie kwerendy najnowszych publikacji naukowych dotyczących tematyki ekologicznej, wyników przeprowadzonych badań, a także wytycznych z wielu krajów i analizy rezultatów kilkunastoletnich badań własnych, prowadzonych na obiektach habitatowych z potwierdzoną dobrą ich funkcjonalnością. Wybrane gatunki nasadzeń potwierdzono na zrealizowanych obiektach w Niemczech w trakcie kilkunastoletnich obserwacji ich żywotności i odporności na trudne warunki związane z zanieczyszczeniami drogowymi, odpornością na suszę i mróz.

Uwzględniając założenia rozwojowe sformułowane na wspomnianej konferencji CEDR [127], dotyczące propagowania, aktualizowania i uzupełniania problemów środowiskowych zawartych w COST 341 [42], w niniejszej monografii przedstawiono wyniki badań naukowych autorki związanych z hałasem i klimatem akustycznym, które w efekcie właściwego zagospodarowania terenu przejścia habitatowego i jego otoczenia mogą przyczynić się do zmniejszenia negatywnego oddziaływania infrastruktury drogowej na środowisko przyrodnicze. W tym celu w rozdz. 6 przedstawiono problemy kształtowania się klimatu akustycznego na przejściach górnych, zwracając szczególną uwagę na usytuowanie drogi na dolnym poziomie i planowanie przejścia górnego na poziomie otaczającego terenu. Na podstawie wyników autorskich badań naukowych sformułowano wiele zaleceń dotyczących zrównoważonego zagospodarowania terenu przejść w aspekcie środowiskowym w celu uzyskania na nich mikroklimatu bardziej przyjaznego zwierzętom. Jest to zagadnienie, które po raz pierwszy pojawia się w specjalistycznej literaturze.

Biorąc pod uwagę główny sens motta niniejszej monografii, można stwierdzić, że zalecenia z aktualnych wytycznych krajowych i zagranicznych oraz proponowane współczesne rozwiązania nie są rozwiązaniami już definitywnie zakończonymi. Inżynieria ekologiczna jest młodą dziedziną budownictwa, bardzo pręźnie rozwijającą się w ostatnim czasie, która potrzebuje jeszcze wielu przemyślanych rozwiązań związanych z zachowaniem równowagi w środowisku, popartych badaniami środowiskowymi i pozytywnymi wynikami monitoringu.

Bibliografia

A

1. *A21 Lamberhurst Bypass, FIRA – landscape architecture and urban design*, <http://www.fira-la.com/portfolio/a21-lamberhurst-bypass/>, dostęp: 05.04.2018.
2. *Afbeelding van Ecoduct op Hees Den Dolder*, <http://www.hegeman.com/>, dostęp: 9.08.2017.
3. Allen T.D.H.: The use of wildlife underpasses and the barrier effect of wildlife guards for deer and black bear, Master of Science, [w:] *Biological Sciences*, Montana, Montana State University Bozeman, 2011.
4. *Amazing Animal Bridges Around the World, Twisted Sifter*, artykuł z dnia 23.07.2012, <http://twistedifter.com/2012/07/animal-bridges-around-the-world/>, dostęp: 20.07.2017.
5. Amann G.: *Ssaki i zwierzęta zmiennocieplne, Seria: Flora i fauna lasów*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza MULTIC, 1994.
6. An update from Parks Australia on this year's red crab migration, *Christmas Island: A Natural Wonder*, June, 20 2013, <https://www.christmas.net.au/discover-christmas-island/blog/entry/an-update-from-parks-australia-on-this-year-s-red-crab-migration.html>, dostęp: 2.07.2017.
7. Andrén H.: Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review, *Oikos* 1994, 71 (3), 355–366.
8. Anonim: Wpływ zanieczyszczeń środowiska na organizmy żywe, *bryk.pl*, <https://www.bryk.pl/wypracowania/pozostale/ekologia/19373-wplyw-zanieczyszczen-srodowiska-na-organizmy-zywe.html>, dostęp: 10.09.2017.
9. *ARC: New Materials. Can exploring new materials change how we engineer our highways?*, <http://arc-solutions.org/new-materials/>, dostęp: 17.07.2017.
10. *Art Meets Ecology: Beyond the Horizon at Wall Gallery in New York*, <http://db-artmag.de/en/65/news/art-meets-ecology-beyond-the-horizon-at-wall-gallery/>, dostęp: 20.03.2018.
11. *A to ciekawe, Jakie dźwięki słyszysz?*, Warszawa, Centrum Nauki Kopernik 2015. http://www.kopernik.org.pl/fileadmin/user_upload/OFERTA_KOMERCYJNA/Wystawa_Eksperymentuj_PDF/jakie_dzwieki_slyszysz.pdf, dostęp: 20.03.2017.

B

12. Bach A., Pawłowska B.: *Wpływ zanieczyszczeń środowiska na stan roślinności drzewiastej w Krakowie*, Kraków, Biblioteka Cyfrowa Politechniki Krakowskiej, Nauka, s. 114–116, <https://suw.biblos.pk.edu.pl/downloadResource&mId=131099>, dostęp: 7.07.2017.
13. Balicki J., Bogucka M.: *Historia Holandii*, wyd. 2, Wrocław, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, 1989, ISBN 83-04-03025-X.
14. *Banff National Park*, <https://www.pc.gc.ca/en/pn-np/ab/banff>, dostęp: 24.08.2018.
15. *Barrieren überwinden Praxisleitfaden für eine wildtiergerechte Raumplanung*, Bonn, Deutscher Jagdschutz – Verband E.V., Vereinigung Der Deutschen Landesjagdverbände, 2010.
16. Bekker H., Iuell B.: Habitat Fragmentation Due to Infrastructure, [w:] *Proceedings of the International Conference on Ecology & Transportation "Making Connections"*, New York, ICOET 24–29 August 2003, Lake Placid, Raleigh, NC: Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University 2003, Chapter 1, 1–14.
17. Berthoud G., Blindenbacher F.B., Ducommun A., Egger M., Hehl-Lange S., Lieberherr A., Oggier P., Holzgang O., Righetti A., Schneider S., Stapfer A., Trocmé M., Segesser L. von, Zumbach S.: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure – Swiss State of the Art. Report (30.6.2000)*, Luxembourg, European Commission Directorate General Transport, 2000.

18. Bęś A., Baciak M.: Oddziaływanie dwutlenku siarki na wybrane gatunki liściastych drzew leśnych, *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 2015, 68, 155–166, http://iks_pn.sggw.pl/PN68/A5/art5.pdf, dostęp: 3.09.2018.
19. Bissonette J.A.: *Evaluation of the Use and Effectiveness of Wildlife Crossing Project No. NCHRP 25-27 FY04, Final Report*, Utah, National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of The National Academies, 2007.
20. Bouchner M.: *Przewodnik śladami zwierząt*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza MULTIC, 1992.
21. Boulton A.: Crabs get their own bridge to cross busy road on Christmas Island, *The Telegraph* 11 December 2015, <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/australiaandthepacific/australia/12045930/Crabs-get-their-own-bridge-to-cross-busy-road-on-Christmas-Island.html>, dostęp: 02.07.2017.
22. Bowles A.E.: Responses of wildlife to noise, [w:] *Wildlife and recreationists: Coexistence through management and research*, eds. R.L. Knight, K.J. Gutzwiller, Washington, Island Press 1995, 109–156.
23. Bozovic A.: No Mean City: Building for wild animals, [w:] *Spacing Toronto Canadian Urbanism Uncovered* 26 January 2011, <http://spacing.ca/toronto/2011/01/26/no-mean-city-building-for-wild-animals/>, dostęp: 02.07.2017.
24. Brabander P. de: *Ecoducten Suthwalda en Stiggeltie, Rapportage Cameramonitoring* 2013, Zuidwolde, Vereniging voor Natuurbescherming Zuidwolde e.o. 2014.
25. Bridging Futures: 2013, I-90 *Wildlife Bridges Coalition*, <https://i90wildlifebridges.org/bridging-futures-2013/>, dostęp: 20.03.2018.
26. Bridging Futures: 2015, I-90 *Wildlife Bridges Coalition*, <http://i90wildlifebridges.org/bridging-futures-2015/>, dostęp: 20.03.2018.
27. Broekmeijer M., Steingröver E.: *Handboek Robuuste Verbindingen–Ecologische randvoorwaarden*, Wageningen, Alterra, 2001.

C

28. Carsignol J.: *CETE de l'Est: Les savoirs les savoirs – faire au niveau des projets, Les connaissances acquises en matière de conception et de gestion des passages pour la faune*, Bagneux, Guides disponibles au SETRA, 2008.
29. Carsignol J.: *Fragmentation et Aménagements spécifiques pour la Trame Verte et Bleue. Passage à faune: prise en compte du contexte local, conception, efficacité*, Bagneux, Guides disponibles au SETRA, 2011.
30. *Choroby przez zanieczyszczenia środowiska*, <http://www.zor.zut.edu.pl/Skrypt-web/Choroby%20przez%20zanieczyszczenia%20srodowiska.html>, dostęp: 9.07.2017.
31. Clemens D.: Washington State to Construct Wildlife Bridge Over Busy Highway, *Dscovrd* 6.09.2015, <http://www.discovery.com/dscovrd/nature/washington-state-to-construct-first-wildlife-bridge-over-busy-highway/>, dostęp: 9.07.2017.
32. Clevenger A.P.: *Highway Effects of Wildlife. Progress Report 6 prepared for Parks Canada*, Alberta, Banff Canada's First National Park, 2001.
33. Clevenger A.P.: Barrueto M.: *Highway 16 Jasper National Park: Mitigation and Opportunities Assessment, Report to Parks*, Alberta, Banff Canada's First National Park, Canada 2016.
34. Clevenger A.P., Chruszcz B., Gunson K., Wierzchowski J.: *Roads and wildlife in the Canadian Rocky Mountain Parks – movements, mortality and mitigation. Final report to Parks Canada*, Alberta, Banff Canada's First National Park, Canada 2002.
35. *Co je zubr*, <http://www.zubry.com/biologia/b05odz.html>, dostęp: 9.07.2017.
36. *COST 341: Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Belgian State of the Art Report*, Luxembourg, European Commission Directorate General Transport, 2000, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_NationalReport_BelgiumUKdef.pdf, dostęp: 2.03.2012.

37. COST 341: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Findings of the COST Action 341, Final Report*, Luxembourg, European Commission Directorate General Transport, 2000, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_final_report.pdf, dostęp: 2.03.2012.
38. COST 341: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Hungarian State of the Art Report*, Luxembourg, European Commission Directorate General Transport, 2000, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_NationalReport_Hungary.pdf, dostęp: 2.03.2012.
39. COST 341: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure*. Linköping, National state of the art report Sweden, 2006, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_NationalReport_Sweden_update_Folkesson_Seiler2006.pdf, dostęp: 2.03.2012.
40. COST 341: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. The European Review, European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2002, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_European_review.pdf, dostęp: 2.03.2012.
41. COST 341: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Swiss State of the Art Report*, Luxembourg, European Commission Directorate General Transport, 2000, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_NationalReport_Switzerland_UKdef.pdf, dostęp: 2.03.2012.
42. COST 341: *Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*, Brussels, European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research, KNNV Publishers, 2003, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_Handbook.pdf, dostęp: 2.03.2012.
43. Cramer P.: *Determining wildlife use of wildlife crossing structures under different scenarios. Report No. UT-12.07. Final Report* May 2012, Utah, Utah Department of Transportation Research Division UDOT, Utah State University <https://www.udot.utah.gov/main/uconowner.gf?n=10315521671291686>, dostęp: 1.08.2012.
44. Cramer P.: *The State of Wildlife Crossings in the West*, [w:] *Connectivity Forum Berkley CA*, Berkley Decemer 3 2012, Berkley, Utah State University, 2012, 6, https://roadeology.ucdavis.edu/files/content/outreach/6_Cramer_ConnectivityForum_2012.pdf, dostęp: 7.11.2017.
45. Cramer P.: *Wildlife Connectivity: Keeping Wildlife Moving and Alive, Mule deer running over Utah's overpass I-15*, Utah State University, 1.06.2009, http://www.globalrestorationnetwork.org/wp-content/uploads/2011/01/Cramer_SER-WN.pdf, dostęp: 7.11.2012.
46. Curzydło J.: Fragmentacja środowiska autostradami – realne zagrożenia dla dzikich zwierząt w Polsce, *Magazyn Autostrady* 2003, 6, 60–66.
47. Curzydło J., Konopka J.: Siedliska rozdzielone infrastrukturą transportową ponownie łączone są przez ekologiczne mosty i przepusty: przykłady przejść dla dzikich zwierząt w Austrii, Belgii, Francji, Niemczech, Szwajcarii i Polsce, [w:] *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą”*, Poznań 13–15 września 2006, Poznań, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 2006, 219–226.
48. Czajka-Marchlewicz B., Żurawik-Paszkowska M.: Ochrona środowiska akustycznego – jak bronić się przed hałasem? *Wolters Kluwer* 31.03.2014, <http://www.srodowisko.abc.com.pl/czytaj/-/artykul/ochrona-srodowiska-akustycznego-jak-bronic-sie-przed-halasem/2>, dostęp: 9.07.2017.

D

49. D'Angelo G.J., Glasser A., Wendt M., Williams G.A., Osborn D.A., Gallagher G.R., Warren R.J., Miller K.V., Pardue M.T.: Visual specialization of an herbivore prey species, the white-tailed deer, *Canadian Journal of Zoology* 2008, 86, 7, 735–243, <https://doi.org/10.1139/Z08-050>, dostęp: 6.07.2017.
50. Definicja terminu: klimat akustyczny, <http://www.ekologia.pl/wiedza/slowniki/leksykon-ekologii-i-ochrony-srodowiska/klimat-akustyczny>, dostęp: 20.07.2017.
51. Definicja terminu: mapa hałasu, mapa akustyczna, *ekologia.pl*, <http://www.ekologia.pl/wiedza/slowniki/leksykon-ekologii-i-ochrony-srodowiska/mapa-halasumapa-akustyczna>, dostęp: 12.08.2017.

52. *Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure: Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design*, second edition, revised and expanded, Madrid, Ministry of Agriculture, Food and the Environment, 2016.
53. Domagała M.: *Dokumentacja fotograficzna*, 2017, archiwum prywatne.
54. Doughton S.: Special I-90 overpass to give animals safe passage, *The Seattle Times* 7.06.2015, <https://www.seattletimes.com/seattle-news/environment/animals-getting-overpass-on-i-90/>, dostęp: 20.07.2017.
55. *Droga ekspresowa S3 odcinek Szczecin – Gorzów Wielkopolski*, red. A. Solowczuk, Szczecin, Comgraph Anna Jadczuk, 2010.
56. Duggar Ch., Corven J. Jr.: Design of the Cross Florida Greenway Land Bridge Over I-75 Using Precast Florida U-Beams, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2014, 1696, ISSN: 0361-1981, <https://doi.org/10.3141/1696-61>, dostęp: 20.03.2017.
57. *Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25.06.2002*, <http://siskom.waw.pl/nauka/srodowisko/dyrektywa-halasu.pdf>, dostęp: 20.04.2017.
58. Dzięgielewski S.: *Jeleń*, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1973.
59. *Dzik, Dziennik Myśliwych – Łowiecki*, <http://www.lowiecki.pl/biologia/dzik.php>, dostęp: 11.11.2017.
60. *Dzik (Sus scrofa)*, <http://abc-survival.pl/dzik-charakterystyka/>, dostęp: 7.07.2017.

E

61. Ecoduct Meedenpad officieel geopend, Groot Groningen, *The Netherlands*, 29.06.2016, <http://groot groningen.com/blog/2016/06/29/ecoduct-meedenpad-officieel-geopend/>, dostęp: 20.11.2017.
62. *Ecoduct The Borkeld*, Amsterdam, Zwarts & Jansma Architects ZJA, 2005, <http://www.zja.nl/en/page/1301/ecoducttheborkeld> info@zja.nl <http://www.zwarts.jansma.nl/page/2794/nl>, dostęp: 2.02.2018.
63. *Ecoduct Slabroek*, https://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/regios/zuid-nederland/helicopterfotos_dnb/geogegevens/raster/ecoduct_slabroek/2014-06/, dostęp: 3.08.2017.
64. *Ecoducten voor 2004*, http://www.mjpo.nl/faunapassages/ecoducten/ecoducten_voor_2004/, dostęp: 10.09.2017.
65. *Ecological Engineering: Bridging Between Ecology and Civil Engineering*, red. H. van Bohemen, Delft, Technical Publishers, 2005.
66. Evink G.L., Garrett P., Zeigler D.: *Proceedings of the third International Conference on Wildlife and Transportation*, Tallahassee, Florida Department of Transportation, 1999.

F

67. Fehrmann J.: *Eerste fietsecoduct in bebouwde kom geopend (Meedenpad)*, 28.06.2016, <http://beijum-nieuws.blogspot.com/2016/06/>, dostęp: 11.11.2017.
68. Film: *ARC International Wildlife Crossing Infrastructure Design Competition*, ARC 2011, <http://competition.arc-solutions.org/video.php>, dostęp: 11.11.2017.
69. Film: *ARC International Wildlife Crossing Infrastructure Design Competition to create the next generation of wildlife crossing structures for North America's roadways*, International Design Competition (ARC), 25.01.2011 <https://www.youtube.com/watch?v=bCJ0qvlW5Mc>, dostęp: 11.11.2017.
70. Film: *Ray ten Barge Ecoduct Wolfhezerheide*, Gelderland, 10.06.2012, <https://www.youtube.com/watch?v=wXB2oerjZQI>, dostęp: 12.11.2017.
71. Film: *Wildlife crossings stop roadkill. Why aren't there more?*, <https://www.youtube.com/watch?v=ND0D3bVbM7Y>, dostęp: 12.11.2017.
72. Film: *Tien jaar Kikbeek: Is een ecoduct nog nuttig?*, Het Belang van Limburg 03.10.2015, http://www.hbvl.be/cnt/dmf20151002_01898710/tien-jaar-kikbeek-is-een-ecoduct-nog-nuttig-video, dostęp: 11.11.2017.

73. *Fizjologia zwierząt. Podręcznik dla studentów wydziałów weterynaryjnych akademii rolniczych*, red. T. Krzymowski, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1983.
74. Forman R.T.T., Friedman D.S., Fitzhenry D., Martin J.D., Chen A.S., Alexander L.E.: Ecological effects of roads: Towards three summary indices and an overview for North America, [w:] *International Conference "Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering"*, red. K. Canters, A. Piepers, A. Hendriks-Heersma, Delft, [bw.], 1997, 40–54.
75. Forman R.T.T., Sperling D., Bissonette J., Clevenger A.P., Cutshall C., Dale V., Fahring L., France R., Goldman C., Heanue K., Jones J., Swanson F., Turrentine T. Winter T.C.: *Road ecology: Science and Solutions*, Washington, D.C., USA, Island Press, 2003.
76. Friend S.: Cross Florida Greenway, The Land Bridge, *Florida Hikes* 22.12.2012.
77. *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf (2008): Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen ans Straßen (MAQ)*, Köln, FGSV Verlag, 2008. ISBN: 978-3-939715-24-5.
78. Fuller M.: FL wildlife crossings work; safety for animals, people, *Florida Politics*, 27.07.2017, <http://floridapolitics.com/archives/240685-manley-fuller-fl-wildlife-crossings-work-safety-animals-people>, dostęp: 9.09.2017.
79. Furtak M., Mojecka M.: Kształtowanie zieleni na przejściach dla zwierząt w kontekście istniejących doświadczeń i uregulowana prawnych, *Przestrzeń i Forma* 2014, 22(3), 97–118.

G

80. *Getting up to speed: A Conservationist's Guide To Wildlife and Highways*, Washington USA, Defenders of Wildlife, 2003.
81. Griff E.A. van der: *Corridor Leusderheide. Alterra – rapport 912*, Nederland Wageningen, Alterra, 2004, ISSN 1566-7197.
82. Griff E.A. van der, Dirksen J., Ottoburg F.G.W.A., Pouwels R.: *Recreatief medegebruik van ecoducten*, Alterra Wageningen UR, Alterra – rapport 2097, Nederland Wageningen, Alterra 2010. ISSN 1566-7197.
83. Grozdanic L.: *Living green bridge keeps wildlife safe from a busy highway*, 26.06.2016, <http://inhabitat.com/living-green-bridge-keeps-wildlife-safe-from-a-busy-highway/>, dostęp: 11.11.2017.

H

84. *Habitat and Highways Campaign*, Iowa Living Roadway Program, <http://www.defenders.org/habitat/highways>, dostęp: 11.11.2017.
85. Harris L.D.: The applicability of insular biogeography, [w:] *The fragmented forest. Island biogeography theory and the preservation of biotic diversity*, Chicago, University of Chicago Press, 1984, 71–92. ISBN 0226317633.
86. *Handboek Robuuste Verbindingen – Ecologische randvoorwaarden*, red. M. Broekmeyer, E. Steingrover, Wageningen, Alterra, 2001.
87. Helldin J.O., Seiler A.: Effects of roads on the abundance of birds in Swedish forest and farmland, *ResearchGate*, IENE January 2003, publ. May 2016, http://wildlifeandtraffic.se/en/Reports_files/Helldin%20Seiler_IENE2003.pdf, dostęp: 20.04.2017.
88. Helldin J.O., Seiler A.: Effects of roads on the abundance of birds in Swedish forest and farmland, *Submitted to Journal of Applied Ecology* 2001, 31, 95–101.
89. Helldin J.O., Seiler A., Jernelid H.: *Project Highway 31, Effects of road construction on wildlife: Final report from the pre-construction study. Grimsö Wildlife Research Station*, Uppsala, SLU, Swedish 2002.
90. Hlaváč V., Anděl P.: *On the permeability of roads for wildlife – A handbook*, Liberec, Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of Czech Republic, 2002.
91. HNTB + MVVA TEAM: *hypar-nature*, http://s3.amazonaws.com/arc-competition/HNTBMVVA_Panels_Low.pdf, dostęp: 11.11.2017.

92. Hodowla jeleni. Serwis nowoczesnego hodowcy, *hodowle.eu*, http://www.hodowle.eu/117_Hodowla_jeleni.html, dostęp: 7.07.2017.
93. Houdt J. van: *Natuurbrug De Scheeken Ecoduct Best A2 ID416104*, 27.6.2011, https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/Natuurbrug_De_Scheeken_Ecoduct_Best_A2_416104, dostęp: 10.09.2017.
94. Huijser M.: *Dokumentacja fotograficzna wybranych przejść habitatowych*, archiwum prywatne, <http://www.marcelhuijserphotography.com/wildlifeoverpasses>, dostęp: 20.03.2018.
95. *I-90: Integrating Stewardship into the Highway Design Project Timeline 1999–2018*, Seattle, Department's Title VI Program, January 2011, <http://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/EC7FEC4D-27BE-4601-B7AD-F8FC1BB063FE/0/I90ENVIROFolioweb.pdf>, dostęp: 10.08.2017.
96. *I-90: Price Creek Sno-Park & Interim Rest Area*, Seattle, Department's Title VI Program, May 2015, <https://www.wsdot.wa.gov/NR/rdonlyres/4EC220B2-A24B-4678-8BB9-6A0D3CE0798D/0/i90PriceCreekClosure.pdf>, dostęp: 10.08.2017.
97. *I-90: Snoqualmie Pass East Hyak to Easton Corridor Project 1999–2018*, Seattle, Department's Title VI Program, October 2010, <https://www.wsdot.wa.gov/Projects/I90/SnoqualmiePassEast/library.htm>, dostęp: 10.08.2017.
98. *I-90: Snoqualmie Pass East – Hyak to Keechelus Dam (Phase 1)*, Seattle, Washington State Department of Transportation, 2017, <http://www.wsdot.wa.gov/projects/i90/snoqualmiepasseast/hyaktokeechelusdam/>, dostęp: 10.08.2017.
99. *I-90: Wildlifebridges*, <http://www.i90wildlifebridges.org/wp-content/uploads/2015/02/>, dostęp: 10.09.2017.
100. Iuell B.: *Dzika przyroda a komunikacja*, [w:] *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą”*, Poznań 13–15 września 2006, Poznań, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 2006, s. 9–22.
101. *Instrukcja obsługi miernika/analizatora dźwięku SVAN 945A*, Warszawa, SVANTEK Sp. z o. o., 2002.

J

102. Jędrzejewski W.: *Wpływ inwestycji transportowych na populacje zwierząt oraz metody ograniczania negatywnego oddziaływania dróg na przyrodę*, [w:] *Konferencja „Ochrona dziko żyjących zwierząt przy inwestycjach drogowych w Polsce”*, Łagów, 24–26.09.2007, Bystra, Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, 10–11.
103. Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R.W., Stachura K.: *Zwierzęta a drogi*, Białowieża, Zakład Badania Ssaków PAN, 2004.
104. Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R.W., Stachura K., Zawadzka B.: *Zwierzęta a drogi. Metody ograniczania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt*, wyd. II popr. uzup. Białowieża, Zakład Badania Ssaków PAN, 2006.
105. Jędrzejewski W., Nowak S., Stachura K., Skierczyński M., Mysłajek R. W., Niedziałkowski K., Jędrzejewska B., Wójcik J.M., Zalewska H., Pilot M., Górny M., Kurek R.T., Ślusarczyk R.: *Projekt korytarzy ekologicznych łączących Europejską Sieć Natura 2000 w Polsce*. Białowieża, Zakład Badania Ssaków PAN, 2011.
106. Jędrzejewski W., Sidarowicz W.: *Sztuka tropienia zwierząt*, Białowieża, Zakład Badania Ssaków PAN, 2010.
107. Johanson P.: *Earthworm Bridge (Nutritious Wildlife Crossing – Brockton)*, 1999, <http://patriciajohanson.com/>, dostęp: 18.06.2018.
108. Johanson P.: *Ecological Infrastructure: Culvert (Brockton)*, 1999, <http://patriciajohanson.com/>, dostęp: 18.06.2018.
109. Johanson P.: *Regional Highway Garden: Nature Walk*, 1969, <http://patriciajohanson.com/>, dostęp: 18.06.2018.
110. Jonker N.: *Verbinden & Ontsnippen door de Provincie*, Directie Beheer & Uitvoering Provincie Noord-Holland 2017, http://www.ecologica.eu/symposium/presentaties2016/6_verbinden_en_ontsnippen.pdf, dostęp: 20.07.2017.

K

111. *Katalog drogowych urządzeń ochrony środowiska, Załącznik do zarządzenia nr 58 GDDKiA z dnia 19 kwietnia 2002 r.*, Warszawa, GDDKiA, 2002.
112. Kaushik: Annual Red Crab Migration on Christmas Island, *AmusingPlanet*, November 17, 2011, <https://www.amusingplanet.com/2011/11/christmas-island-is-small-australian.html>, dostęp: 02.07.2017.
113. *Klucz do oznaczania ssaków Polski*, red. Z. Pucek, Warszawa, PWN, 1984.
114. Kociolek A.: Creative Concrete Construction: "hypar-nature" – A precast concrete design for wildlife crossings, *The Concrete Bridge Magazine ASPIRE* 2011, 12.
115. Komosińska H., Podsiadło E.: *Ssaki kopytne*. Warszawa, PWN, 2002.
116. Konopka J.: W obronie ginących zwierząt, *Magazyn Autostrady* 2004, 10, 58–62.
117. Konopka J.: Ochrona zwierząt na szlakach komunikacyjnych, *Problemy Ekologii* 2007, 11(5), 274–278.
118. Kramer-Rowold E.M., Rowold W.A.: Zur Effizienz von Wilddurchlässen an Strassen und Bahnlinien, *Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen* 2001, 21(1), 2–58.
119. Krasiński Z.A., *Żubr Puszczy Imperator*, Białowieża, Wydawnictwo BPN, 2005, 1–24.
120. Ksenia, Yangjae Gogae Eco-bridge Design Competition Brought Us This Cool Design Which Helps Animals Cross a Busy Highway, *The Awesome Daily*, July 3, 2017, <http://theawesomedaily.com/yangjae-gogae-eco-bridge-design-competition/>, dostęp: 10.01.2017.
121. Kurek R.: *Poradnik projektowania przejść dla zwierząt i działań ograniczających śmiertelność fauny przy drogach*, Bystra, Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, GDOŚ, 2010.

L

122. *Landscape Plan and Nature Bridge Zanderij Crailoo*, Vista Landscape Architecture and Urban Planning, The Netherlands Hiversum, 2009, <http://www.landscape-architects.eu/projects/design-plan/landscape-plan-and-nature-bridge-zanderij-crailoo.html>, dostęp: 3.04.2017.
123. Langumier J.F., Grimaldi H.: *Des passages à faune. Pour préserver la biodiversité, du Jura au Grésivaudan*, Asnières Cedex, Groupe Autoroutes Paris-Rhin-Rhône APRR, 2009.
124. *Les passages à faune Une solution écologique, économique et facile à mettre en œuvre (avec promotion de l'usage du bois pour la construction de nouveaux passages à faune)*, Paris, Région Île-de-France, Préfecture de Région, 2011.
125. Lister N.-M., Brocki M., Ament R.: Innovations in the Face of Climate Change: Integrated adaptive design for wildlife movement under climate change, *Ecological Society of America, Frontiers in Ecology & the Environment*, 2015, 493–502. DOI:10.1890/150080.
126. Lott M.: Students draw attention to first wildlife overcrossing east of Snoqualmie Pass through social media contest, *WSDOTBLOG*, 25.03.2015, <https://wsdotblog.blogspot.com/2015/03/students-draw-attention-to-first.html>, dostęp: 18.06.2018.
127. Lund Ujvári M., Nilsson L., Rösten E.: Mobility for humans and wildlife – cost-effective ways forward, Report on cost-effective mobility for humans and wildlife, [w:] *Conference of European Directors of Roads CEDR*, Copenhaga, Danish Road Agency, 2011, http://www.cedr.fr/home/fileadmin/user_upload/Publications/2012/e_Wildlife_and_traffic.pdf, dostęp: 13.11.2017.

Ł

128. Łaptos J.: *Historia Belgii*, Warszawa, Ossolineum, 1995, ISBN 83-04-04262-2.

M

129. Madej R.: *Dokumentacja fotograficzna wybranych przejść habitatowych*, 2010 (archiwum prywatne).
130. Maldia V.: How are the eyes of an animal which can see different wavelengths from a human's eyes different?, *Quora*, 24.05.2016, <https://www.quora.com/How-are-the-eyes-of-an-animal-which-can-see-different-wavelengths-from-a-humans-eyes-different>, dostęp: 2.11.2018.
131. *Mapa korytarzy ekologicznych w Polsce*, Bystra, Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, <http://mapa.korytarze.pl/>, dostęp: 20.07.2017.
132. Maranda D.: Ustalanie lokalizacji i dobór parametrów przejść dla zwierząt – problemy i dobre praktyki w projektowaniu, [w:] *Konferencja EKKOM „Ochrona dziko żyjących zwierząt przy inwestycjach drogowych w Polsce”*, Łągów 24–26.09.2007, Bystra, Stowarzyszenie Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, 2007, 51–59.
133. Maranda D., Kurek R.: Wytyczne projektowania i stosowania przejść dla dzikich zwierząt, części I, II i III, *Edroga* 22.03.2010, <http://edroga.pl/ochrona-srodowiska/projektowanie>, dostęp: 5.10.2017.
134. Maron R.: *Dokumentacja fotograficzna wybranych przejść habitatowych*, 2012 (archiwum prywatne).
135. Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji: *Obwodnica Augustowa ominie chronioną część Doliny Rospudy*, 24.03.2009, <https://archiwum.mswia.gov.pl/pl/aktualnosci/7033,dok.html>, dostęp: 1.07.2017.
136. *MJPO – geeft ruimte aan dieren*, <http://www.mjpo.nl>, dostęp: 10.09.2017.
137. *Mosty zielone*, http://www.wigry.win.pl/Amphi/pliki/main_pl.htm, dostęp: 10.08.2012.
138. Müller S., Guy B.: *Fauna/Traffic savety – Manual for civil engineers. Laboratoire des voies de circulation*, Lausanne, Zwiszerland, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1996.

N

139. Natuurbrug Zanderij Crailoo, *Atlas Obscura*, Hiversum Netherlands 2009, <http://www.atlasobscura.com/places/natuurbrug-zanderij-crailoo>, dostęp: 12.11.2017.
140. Natuurbrug Zanderij Crailoo, Hilversum Netherlands, *MJPO* 2006, http://www.mjpo.nl/faunapassages/ecoducten/ecoducten_voor_2004/?page=crailo, dostęp: 12.11.2017.
141. Natuurbrug_Zwaluwenberg, http://www.viadrupsteen.nl/natuurbruggen/#Natuurbrug_Zwaluwenberg/Huidige_Situatie/, dostęp: 20.08.2017.
142. *NCHRP Synthesis 305, Interaction Between Roadways and Wildlife Ecology: A Synthesis of Highway Practice*, National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C., Transportation Reserch Board — The National Academies, 2002.
143. *NCHRP REPORT 615 Evaluation of the Use and Effectiveness of Wildlife Crossings*, National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C., Transportation Reserch Board – U.S. Geological Survey – Utah Cooperative Fish and Wildlife Research Unit Utah State University, 2008, ISBN 978-0-309-11740-1, DOI: 10.17226/14166.
144. Nehaoua A.: *Passages à faune*, Societe des Etudes techuques Setif, 25 Avril 2010, <https://fr.slideshare.net/ademLoup/passages-faune>, dostęp: 6.02.2015.
145. *Niedźwiedź*, <http://www.niedzwiedz.wwf.pl/>, dostęp: 10.07.2017.

O

146. *Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15.10.2013 w sprawie sposobu ustalenia wartości wskaźnika hałasu L_{DWN}* , DzU z 22.01.2014, poz. 112.
147. *Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2.10.2013 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu – Prawo budowlane*, DzU z 29.11.2013, poz. 1409.
148. *Ochrona dziko żyjących zwierząt przy inwestycjach drogowych w Polsce*, red. R. Kurek, Bystra, Stowarzyszenie Pracownia na Rzecz Wszystkich Istot, 2008.

149. *Ochrona korytarzy ekologicznych: Mapa korytarzy ekologicznych w Polsce*, Bystra, Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, <http://korytarze.pl/mapa/mapa-korytarzy-ekologicznych-w-polsce>, dostęp: 20.07.2017.
150. Ohnesorge G., Scheiba B., Uhlenhaut K.: *Ślady i tropy zwierząt, Seria: Flora i fauna lasów*, Warszawa, Oficyna Wydawnicza MULTIC, 2008.
151. Olech W.W.: *Bison bonasus. Żubr (Linnaeus, 1758)*, [w:] *Gatunki zwierząt (z wyjątkiem ptaków). Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – Podręcznik metodyczny*, tom 6, red. P. Adamski, L. Bartel, A. Bereszyński, A. Kepel, Z. Witkowski, Warszawa, Ministerstwo Środowiska, 2004, 367–391.
152. Olgemar M.: *Effektiv utformning av ekodukter och faunabroar. Rapport 2011:159*, Borlänge, Trafikverket, Besöksadress: Röda vägen, 2011.
153. Olsson M., Seiler A.: *The use of a moose and roe deer permeability index to develop performance standards for conventional road Bridges*, [w:] *International Conference Safeguarding Ecological Functions Across Transport Infrastructure IENE*, Potsdam, 21–24.10.2012, Uppsala, Swedish Biodiversity Centre (CBM), 2012 (abstract & poster).
154. Olsson M., Widén P.: *Unpublished report*, Karlstad, University of Karlstad, 2006.
155. *Opinia KP dotycząca wytycznych planowania, projektowania i eksploatacji na drogach krajowych przejść dla zwierząt*, Świebodzin, Klub Przyrodników, 7 maja 2018, http://www.kp.org.pl/pdf/stanowiska/inne/2018-05-07_KP%20opinia%20przejscia%20dla%20zwierzat.pdf, dostęp: 10.05.2018.

P

156. Pacelik P.: *Dokumentacja fotograficzna wybranych przejść habitatowych*, 2017 (archiwum prywatne).
157. Papier P.: *Podstawowe pojęcia z zakresu pomiarów akustycznych*, *WebArchive* 11.03.2005, <http://web.archive.org/20050311215759/lesior.prmg.art.pl/akustyka/podstawy.htm>, dostęp: 20.07.2017.
158. *Passages à faune, Guide BBP Les Fiches Techniques*, 2011, 1/4, 1–5, <http://www.biodiversite-positive.fr/wp-content/uploads/2011/10/Passage-%C3%A0-faune-28-fev.pdf>, dostęp: 24.09.2017.
159. Pielowski Z.: *Sarna*, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1988.
160. PN-ISO 1996-1:2006. *Akustyka – Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 1. Wielkości podstawowe i procedury oceny*.
161. *Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych. Załącznik nr 3: Zagadnienia wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych w odniesieniu do dziko żyjących zwierząt*, red. J. Bohatkiewicz, Kraków, EKKOM Sp. z o.o., 2008.
162. Pree L.: *Zwierzęta w parkach narodowych świata*, Warszawa, MUZA SA, 2000.
163. *Program komputerowy Google Earth*, <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>.
164. *Program komputerowy Street View*, [w:] *Google Earth*, <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>.
165. *Program komputerowy SvanPC ++ ver. 1.1.8, SVAN 945a*, www.svantek.com.pl.
166. *Program Zefir*, <http://www.infoeko.ns.com.pl/przemysl.htm>, dostęp: 10.05.2010.
167. *Proceedings of the International Conference on Ecology & Transportation "Making Connections" ICOET*, Lake Placid, 24 – 29.08.2003, New York, Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, 2003.

R

168. *Raport o oddziaływaniu na obszary Natura 2000 – przedsięwzięcia polegającego na budowie drogi ekspresowej S3 na odcinku Szczecin – Gorzów Wielkopolski (od węzła Klucz w km 0+000 do węzła Gorzów Północ (bez węzła) km 81+613)*, Warszawa, EKKOM Sp. z o.o., marzec 2010.
169. RED/Research Evolve Design, [w:] *New Materials Can exploring new materials change how we engineer our highways?*, <https://arc-solutions.org/new-materials/>, dostęp: 2.10.2018.

170. Reijnen M.J.S.M., Veenbaas G., Foppen R.P.B.: *Predicting the effects of motorway traffic on breeding bird populations*, Road and Hydraulic Engineering Division, Delft, DLO Institute for Forestry and Nature Research, 1995.
171. Rijn E. van, Kersten P., Costa E. da, Collignon W., Buck S., Longoni L., Peris B.: *Natuurbrug Laarder-hoogt*, Rotterdam, Neterland, WURCK architectuur stedenbouw landschap, 2013, <http://www.wurck.nl/projecten/natuurbrug-laarderhoogt-laren/>, dostęp: 5.10.2017.
172. Ritter G.: Grünbrücke über Autobahn 61 Freie Bahn für die Tierwelt – Quelle, *Rhein-Erft-Rundschau*, 10.03.2014, <https://www.rundschau-online.de/region/rhein-erft/gruenbruecke-ueber-autobahn-61-freie-bahn-fuer-die-tierwelt-3077728>, dostęp: 22.11.2017.
173. Rospuda – dolina niezgody, *Polska Gazeta Transportowa pgt.pl*, 21.02.2007 http://www.pgt.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=190&Itemid=87, dostęp: 2.10.2017.
174. Rosenberg J.: *RED/Research Evolve Design*, JRA 2010; http://s3.amazonaws.com/arc-competition/JRA_Panels_Low.pdf, dostęp: 10.07.2017.
175. Rosenberg J.: *The Metropolitan Field Guide*, <http://www.metrofieldguide.com/arc-wildlife-crossing-finalists/>, dostęp: 3.10.2017.
176. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10.11.2010 r. w sprawie sposobu ustalenia wartości wskaźnika hałasu L_{DWN}* , DzU z 2010 r., nr 215, poz. 1414.
177. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1.10.2007 r. w sprawie szczegółowego zakresu danych ujętych na mapach akustycznych oraz ich układu i sposobu prezentacji*, DzU z 2007 r., nr 187, poz. 1340.
178. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2.10.2007 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem*, DzU z 2007 r., nr 192, poz. 1392.
179. *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie*, DzU z 2000 r., nr 63, poz. 735.
180. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9.11.2004 r. w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko*, DzU z 2004 r., nr 257, poz. 2573.
181. *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko*, DzU z 2010 r., nr 213, poz. 1397.
182. Rymśa J.: Propozycje zmian administracyjno – prawnych dotyczących przejść dla zwierząt, [w:] *III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna TRANSEIA „Oceny oddziaływania na środowisko w budownictwie komunikacyjnym”*, Krynica Zdrój 6–8 grudnia 2017, Kraków, EKKOM, <http://www.transeia.eu/tematyka/referaty/>, pdf nr s2r1, dostęp: 20.12.2017.

S

183. Sadowski J.: Kształtowanie klimatu akustycznego środowiska i jego ochrona przed hałasem i drganiami, *Prace Instytutu Techniki Budowlanej* 1999, 2–3, 110–111.
184. Schab M.: *Dokumentacja fotograficzna wybranych przejść habitatowych*, 2010 (archiwum prywatne).
185. Schmidt-Nielsen K.: *Fizjologia zwierząt. Adaptacja do środowiska*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008.
186. Schwender M., Olson D., Cramer P.: *How well do existing culverts facilitate wildlife movement in Utah?* Poster presented at the national Wildlife Society Meeting, [w:] *International Conference on Ecology & Transportation ICOET*, Seattle, August 21–25 2011, [b.w.].
187. Seiler A.: *The toll of the automobile: Wildlife and roads in Sweden*, Doctor's dissertation. Silvestria 295, Department of Conservation Biology, Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences, 2003, ISSN 1401-6230, ISBN 91-576-6529-X.
188. Seiler A., Eriksson I.M.: New approaches for ecological consideration in Swedish road planning, [w:] *Proceedings of the international conference on habitat fragmentation, infrastructure and the role of*

- ecological engineering*, red. K. Canters, A. Piepers, A. Hendriks-Heersma, Delft, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Division, 1997, 253–266.
189. Serbeńska A.: Rodzaje i koszty osłon przeciwhałasowych, *Edroga*, 19.05.2011, <http://edroga.pl/drogi-i-mosty/rodzaje-i-koszty-oslon-przeciwhalaszowych-19053998/all-pages>, dostęp: 2.07.2018.
 190. Serafiński W.: *Atlas. Ssaki Polskie*, Warszawa, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, 1965.
 191. Serafiński W., Wielgus-Serafińska E.: *Ssaki*, wyd. 2, Warszawa, PWN, 1988.
 192. Sétra no. 30 MINENV/MEDD: *Aménagements et mesures pour la petite faune. Guide technique*, Lyon, Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2005, ISBN 2-11-094647-4.
 193. Sétra no. 40: *Service d'Études techniques des routes et autoroutes: Bilan d'expériences.*, Lyon, Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2006.
 194. Sétra: *Aménagements et mesures pour la petite faune. Passages à faune*, Societe des Etudes techuques Setif, *Guide technique*, Lyon, Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2005, ISBN 2-11-094647-4.
 195. Sétra: *Bilan d'expériences Routes et passages à faune 40 ans d'évolution*, Lyon, Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2006.
 196. Sétra: *Note d'information: Clôtures routières et faunu, Critères de choix et recommandations d'implantation*, Economie Environnement Conception 86, Lyon, Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 2008.
 197. Sheetz S.: What You Didn't Know About Deer Vision, *fishingbuddy.com*, 7.10.2016, <http://www.fishingbuddy.com/busted-what-you-didn%E2%80%99t-know-about-deer-vision>, dostęp: 3.11.2017.
 198. Simpson N.O., Stewart K.M., Schroeder C., Cox M., Huebner K.: Overpasses and underpasses: Effectiveness of crossing structures for migratory ungulates, *The Journal of Wildlife Management*, 2016, 1–9, DOI: 10.1002/jwmg.21132.
 199. Skórkowski R.: *Tropy zwierząt*, <http://www.wolinpn.pl/monografie.php?mid=4&subpage=4>, dostęp: 10.11.2017.
 200. Smit G.F.J., Brandjes S.J., Veenbaas G.: Przejścia dla płazów pod autostradami: rozwiązania dla migracji czy dyspersji?, [w:] *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą”*, Poznań 13–15 września 2006, Poznań, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 227–233.
 201. Smitskamp L.: *Het gebruik van de ecoducten Leusderheide en Treeker Wissel. Rapport final*, Amsterdam, Master Ecology Vrije Universiteit Amsterdam, 2010.
 202. Sołowczuk A.: Budowa przejść dla zwierząt bardziej przyjaznych środowisku część 1, *Drogi Lądowe – Powietrzne – Wodne*, 2010, 6, 49–59.
 203. Sołowczuk A.: Budowa przejść dla zwierząt bardziej przyjaznych środowisku cz. 2, *Drogi Lądowe – Powietrzne – Wodne*, 2010, 7, 37–43.
 204. Sołowczuk A.: Determinanty zagospodarowania wpływające na poziom hałasu na przejściach dla zwierząt, [w:] *Seminarium naukowe: XIX Nadmorskie Seminarium Mostowe*, Darłówko 3–4.04.2014. [b.w.]
 205. Sołowczuk A.: Niemieckie doświadczenia w ochronie środowiska i budowie przejść dla zwierząt na przykładzie niemieckiej autostrady A20, [w:] „*Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej*”, *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna KILiW PAN oraz GDDKiA*, Kazimierz Dolny, 7–9.10.2009, Kraków, EKKOM, 2009, 390–401, http://edroga.pl/images/stories/os_wykonawstwo/a20-niemieckie-doswiadczenia-w-budowie-przejsc-dla-zwierzat/cz-ii/niemieckie_doswiadczenia_S2.pdf, dostęp: 8.11.2009.
 206. Sołowczuk A.: Obiekt mostowy PZ-39 w ciągu drogi ekspresowej S3, *Inżynieria i Budownictwo* 2011, 7–8, 391–394.
 207. Sołowczuk A.: Ochrona środowiska i budowa przejść dla zwierząt, [w:] *XV Nadmorskie Seminarium Mostowe*, Darłówko 6–7.05.2010, Szczecin, GDDKiA, Oddział Szczecin, 2010, 63–74.
 208. Sołowczuk A.: *Raport główny dotyczący poprawności wykonanych czynności gwarantujących długotrwałe podniesienie funkcjonalności przejść dla zwierząt zlokalizowanych na Etapie I Autostrady A1 odcinek*

Rusocin – Nowe Marzy (km 000+450 – 089+450), Szczecin, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, 2012.

209. Sołowczuk A.: Wpływ zagospodarowania terenu na rozkład poziomy hałasu drogowego na powierzchni górnych przejść habitatowych. *VI Międzynarodowa Konferencja Ochrony Środowiska i Estetyki w Budownictwie Komunikacyjnym*, Kazimierz Dolny 23–25 kwietnia 2014, *Budownictwo i Architektura*, 2014, 13(1), 103–112, [http://wbia.pollub.pl/files/85/attachment/vol13\(1\)/09.pdf](http://wbia.pollub.pl/files/85/attachment/vol13(1)/09.pdf), dostęp: 5.05.2014.
210. Sołowczuk A.: Zagospodarowanie powierzchni budowli habitatowych, *Obiekty Inżynierskie*, 2011, 3, 35–43.
211. Sołowczuk A.: Zagospodarowanie zielenią przejść dla zwierząt, [w:] *II Konferencja „Zieleń autostradowa”. Międzynarodowe Targi Budownictwa Drogowego Autostrada-Polska*, Kielce 11.05.2011, Poznań, Dendros Konferencje i Szkolenia, 2011, 21–25.
212. Sołowczuk A., Czarnecki J.: Ocena poziomu hałasu na górnych przejściach dla zwierząt przy różnym zagospodarowaniu przejścia i otoczenia, *Drogi Lądowe – Powietrzne – Wodne*, 2010, 12, 46–55.
213. Sołowczuk A., Majer S.: *Realizacje drogowe przyjazne środowisku na przykładzie budowy S3*, [w:] „Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej”. *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna KILiW PAN oraz GDDKiA*, Kazimierz Dolny 7–9.10.009, Kraków, EKKOM, 2009, 79–92.

Ś

214. *Ślady zwierząt*, Mikołów, Śląski Ogród Botaniczny, 2010.

T

215. Tagethof U.: *Grunbrücke Heidenheim A7*, <http://www.panoramio.com/photo/75665068>, dostęp: 17.11.2016.
216. Tagethof U.: *Kalkofen 1*, <http://www.panoramio.com/photo/8595399>, dostęp: 17.11.2016.
217. Tagethof U.: *Kalkofen 2*, <http://www.panoramio.com/photo/8595402>, dostęp: 17.11.2016.
218. Tagethof U.: *Kalkofen 3*, <http://www.panoramio.com/photo/8595407>, dostęp: 17.11.2016.
219. Tędy pobiegnie obwodnica Augustowa, *Dziennik.pl*, 29.12.2009 (zaktualizowany 7.06.2010), <http://gospodarka.dziennik.pl/news/artykuly/106481,tedy-pobiegnie-obwodnica-augustowa.html>, dostęp: 2.09.2017.
220. *Technical publications: Fauna Sensitive Road Design, vol. 2, chapter 6. Technical Dokument*, Queensland, Search Department of Transport and Main Roads, Queensland Government, Australia 2011. <https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Fauna-Sensitive-Road-Design-Volume-2.aspx>, dostęp 23.09.2012.
221. Tilmans R.: *Dokumentacja fotograficzna wybranych przejść habitatowych*, zbiory firmy Provincie Limburg, Holandia 2018.
222. Trocmé M.: Habitat Fragmentation due to Linear Transportation Infrastructure: An overview of mitigation measures in Switzerland, [w:] *6th Swiss Transport Research Conference (STRC)*, Monte Verita/Ascona, March 15–17.2006, Zürich, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering & Institute for Transport Planning and Systems, 1–20, http://www.kora.ch/malme/05_library/5_1_publications/T/Trocmé_2006_Habitat_fragmentation_due_to_linear_transportation_infrastructure.pdf, dostęp: 9.08.2017.
223. Trocmé M., Cahill S., De Vries J. G., Farall II., Folkesson L., Fry G. L., Nicks C., Peymen J.: *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: The European Review*, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2004.
224. Turner Ch.: The biggest wildlife crossing you've never heard of, *High Country News, Growth&Sustainability*, 2 May 2014, <http://www.hcn.org/blogs/goat/the-biggest-wildlife-crossing-youve-never-heard-of>, dostęp: 7.06.2017.

225. *Trame verte et, Proposition issue du comité opérationnel trame verte et bleue en vue des orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques écologiques. Projet de guide SNIT: Orientations nationales concernant les projets nouveaux et la mise à niveau des infrastructures existantes Avertissement* (Décembre 16 2008), Paris, 2010, http://www.scotbessin.fr/site/Actualites/201010TVB/DGALNguide3_tvb.pdf, dostęp: 4.11.2017.

U

226. *Ustawa z dnia 20.07.1991 o Inspekcji Ochrony Środowiska*, DzU z 1991 r., nr 77, poz. 335, z póź. zm.
227. *Ustawa z dnia 27.03.2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym*, DzU z 2003 r., nr 80, poz. 717, z późn. zm.
228. *Ustawa z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska*, DzU z 2001 r., nr 62, poz. 627, z późn. zm.

V

229. Vale B., Vale R.: *Green Architecture: Design for an Energy-Conscious Future*, Boston, Bulfinch Press, 1991, ISBN 0500278830.
230. Veldhoen E.: *Het gebruik van de ecoducten Treeker Wissel en Leusderheide door fauna*, Utrecht, Fabrice Ottburg in samenwerking met Provincie Utrecht, 2010, <https://www.mjpo.nl/downloads/64/rapport-ecoducten1.pdf>, dostęp: 9.08.2017.
231. Voor hetzelfde geld een fietspad, *CROW fietsberaad, Kenniscentrum voor fietsbeleid*, 06.05.2013, <http://www.fietsberaad.nl/index.cfm?repository=Voor+hetzelfde+geld+een+fietspad>, dostęp: 13.11.2017.

W

232. Wajrak A., Medek J.: I Rospuda uratowana i droga zbudowana, *wyborcza.pl*, 06.11.2014. http://wyborcza.pl/piatekekstra/1,129155,16927078,I_Rospuda_uratowana__i_droga_zbudowana.html, dostęp: 16.06.2017.
233. *Waterloo*, http://www.mjpo.nl/faunapassages/ecoducten/provinciale_ecoducten/waterloo/, dostęp: 10.09.2017.
234. *Werkversie, De Vormgeving van Faunapassages, DEEL III, MJPO Leidraad Faunavoorzieningen bij Infrastructuur*, Brussel, Meerjarenprogramma Ontsnippering MJPO, 2011, <http://www.mjpo.nl/nieuws-publicaties/publicaties/leidraden-en-richtlijnen/>, dostęp: 19.09.2017.
235. White B., Lott M.: *I-90 Snoqualmie Pass East*, Seattle, Washington State Department of Transportation WSDOT Communications, September 2015, <http://www.wsdot.com/NR/rdonlyres/6ADE2CAD-3E63-4746-BE0F-DCB27DB4948E/0/I90MegaProjectFolioSept2015.pdf>, dostęp: 19.08.2017.
236. Wildlands Center for preventing roads, *Wildlands CPR*, 10.10.2001, <http://www.wildlandscpr.org/>, dostęp: 2.10.2010.
237. Wickhem C., Ernest K.: Testing the forage preference of the American pika (*Ochotona princeps*) for use in connectivity corridors in the Washington Cascades, *All Master's Theses*, 2016, 452, https://digitalcommons.cwu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=http://www.google.pl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjLg_bkufLgAhURmYsKHfMJB0QQFjAAegQICRAC&url=http%3A%2F%2Fdigitalcommons.cwu.edu%2Fcgi%2Fviewcontent.cgi%3Farticle%3D1451%26context%3Ddtd&usq=AOvVaw1Oawz2PPznpUwbE1QDNA_2&httpsredir=1&article=1451&context=etd, dostęp: 5.05.2017.
238. *Wildlife Crossings Publication, chapter 20. Wildlife crossings 20.0 introduction. The linear nature of surface transportation systems creates a suite of concerns for transportation*, Harrisburg Pennsylvania, Pennsylvania Department of Transportation's (PennDOT's) District Offices Federal Highway Administration's (FHWA), 2012, <https://www.dot.state.pa.us/public/Bureaus/design/PUB13M/Chapters/Chap20.pdf>, dostęp: 8.08.2016.

239. *Wildlife Crossing Structures Handbook. Desing and Evaluation in North America*. Publication No. FHWA-CFL/TD-11-003 March 2011, Lakewood, Central Federal Lands Highway Division, https://road-ecology.ucdavis.edu/files/content/projects/DOT-FHWA_Wildlife_Crossing_Structures_Handbook.pdf, dostęp: 13.08.2016.
240. Wines J.: *Green Architecture. Architecture & design series*, Los Angeles, Taschen America Llc, 2000, ISBN 3822863033.
241. *Wrzosowiska i lasy mieszane*, Warszawa, Świat Książki, 1999, ISBN 83-7175-212-1.
242. Wysokowski A., Janusz L., Staszczuk A., Bednarek B.: Zmniejszenie negatywnego wpływu inwestycji komunikacyjnych (drogowo-kolejowych) na możliwość swobodnej migracji zwierząt, [w:] *Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą”*, Poznań 13–15 września 2006, Poznań, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 209–217.
243. *Zarządzenie nr 10 GDDKiA z dnia 15.02.2013 Wytyczne zakładania i utrzymania zieleni przydrożnej*, Warszawa, GDDKiA, 2013.

Z

244. Zanderij Crailoo – Bussum en Hilversum (65 ha), *Goois Natuurreservaat*, <https://gnr.nl/de-natuur-in/gebieden/zanderij-crailoo/>, dostęp: 10.11.2017.
245. *Zielono wkoło. Jak rośliny pomagają walczyć ze smogiem*, Warszawa, Związek Szkółkarzy Polskich, <https://www.zszp.pl/?id=652&lang=1>, dostęp: 9.07.2017.
246. Zwarts & Jansma Architects: *Landshape*, http://s3.amazonaws.com/arc-competition/ZJA_Panels_Low.pdf, dostęp: 10.11.2017.
247. Zwarts & Jansma Architects: *Wildlifecrossings landshape panel*, <http://www.zja.nl/en/page/2953/wildlife-crossings-colorado-usa>, dostęp: 10.11.2017.

Wykaz źródeł ilustracji

Rozdział 1. Fragmentacja krajobrazu i kompensacje przyrodnicze

- COST 341. *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure: The European Review*, 2002, oprac. Andreas Seiler – ryc. 1.2. [40].
- COST 341. Seiler A., Folkesson L., *Habitat fragmentation due to transportation infrastructure*, 2006, oprac. Andreas Seiler i Inga-Maj Eriksson – ryc. 1.7 [39].
- Michał Domagała – ryc. 1.1 [53].
- Marcel Huijser – ryc. 1.9 [94].
- Patricia Johanson – ryc. 1.10, 1.11 i 1.12 [107, 108, 109].
- Andreas Seiler – ryc. 1.6 [187].
- Alicja Sołowczuk – opracowanie graficzne – ryc. 1.3, 1.8, 1.13.
- Zdjęcia satelitarne z programu Google Earth – ryc. 1.4, 1.5 [163].

Rozdział 2. Analiza czynników ekologicznych podczas projektowania przejść górnych

- COST 341. *National state-of-the-art report Sweden* [39]: cyt. za.: Mattias Olsson – ryc. 2.57, 2.58 [154].
- Dominik Kacprzak – opracowanie graficzne – ryc. 2.54 c–d.
- Johan Fehrmann – ryc. 2.7 [67].
- Marcel Huijser – ryc. 2.11, 2.12 [94].
- Raymond Tilmans Provincie Limburg, Holandia – ryc. 2.9, 2.10 [221].
- Alicja Sołowczuk – fotografie – ryc. 2.18, 2.46, 2.47, 2.48 a–b, opracowanie graficzne – ryc. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.15, 2.16, 2.43, 2.54 a–b, 2.59 a–b, 2.60, 2.61, 2.62, 2.63.
- Werkversie, De Vormgeving van Faunapassages, DEEL III – ryc. 2.8 [234].
- Zdjęcia satelitarne z programu Google Earth – ryc. 2.13, 2.14, 2.17, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.25, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30, 2.31a, b, d, i e, 2.32, 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, 2.37, 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, 2.42, 2.44, 2.45, 2.49, 2.50, 2.51, 2.52, 2.53, 2.55, 2.56, 2.64, 2.65, 2.66, 2.67, 2.68, 2.69 [163].
- Zdjęcie z programu Google Earth (Street View) – ryc. 2.24, 2.26, 2.31c [164].

Rozdział 3. Analiza czynników budowlanych branych pod uwagę podczas projektowania przejść górnych

- Nico Jonker Directie Beheer & Uitvoering Provincie Noord-Holland – ryc. 3.45 [110].
- Dominik Kacprzak – opracowanie graficzne – ryc. 3.2, 3.3, 3.14, 3.15, 3.17, 3.41 a–f, 3.91.
- Piotr Pacelik – ryc. 3.36, 3.38, 3.39 [156].
- Provincie Noord-Holland*, www.noord-holland.nl – ryc. 3.46 [141].
- PRR I-90 WSDOT – Washington State Department of Transportation – ryc. 3.53, 3.54, 3.55 [235].
- Radosław Madej – ryc. 3.18b [134].
- Janet Rosenberg – ryc. 3.89, 3.90 [169, 174].
- Mariusz Schab – ryc. 3.80, 3.81 [184].
- Alicja Sołowczuk – fotografie – ryc. 3.16b, 3.20, 3.21, 3.22, 3.24, 3.25, 3.32, 3.37 a–b, 3.61, 3.62, 3.63, 3.64 (rozkład hałasu z pozycji [166]), 3.65, 3.66, 3.79, 3.86, 3.88, 3.94, 3.95; opracowanie graficzne – ryc. 3.1, 3.13, 3.16a, 3.18a, 3.19, 3.29a, 3.29c, 3.29e, 3.71 a–d, 3.76, 3.93 a–b.
- Raymond Tilmans Provincie Limburg, Holandia – ryc. 3.43 [221].

Zdjęcia satelitarne z programu Google Earth – ryc. 3.4a, 3.6a, 3.8, 3.9, 3.11a, 3.23 a–b, 3.26, 3.27, 3.29b, 3.29d, 3.29.f, 3.30, 3.31, 3.33, 3.34, 3.35, 3.40, 3.42, 3.44, 3.47a, 3.48a, 3.49, 3.50, 3.51, 3.52, 3.56, 3.57, 3.59, 3.67, 3.68, 3.69, 3.70, 3.72, 3.73, 3.74, 3.75, 3.77, 3.78, 3.82, 3.83, 3.84, 3.85 a–b, 3.87 [163].

Zdjęcia z programu Google Earth (Street View) – ryc. 3.4b, 3.5, 3.6b, 3.7, 3.10, 3.11b, 3.12 a–b, 3.28, 3.47b, 3.48b, 3.58, 3.60 [164].

Zwarts & Jansma Architects – ryc. 3.92 [246].

Rozdział 4. Zrównoważone zagospodarowanie terenu przejścia przyjaznego zwierzętom

Joop van Houdt – State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat – ryc. 4.7 [93].

Fira Landscape Limited – ryc. 4.25 [1].

Marcel Huijser – ryc. 4.78, 4.79, 4.90 [94].

Jean-François Langumier, APRR/Alain Joveniaux-EPA – ryc. 4.89 [123].

Piotr Pacelik – ryc. 4.75, 4.76 [156].

Radosław Maron – ryc. 4.121, 4.122 [134].

Mariusz Schab – ryc. 4.20 [184].

Alicja Sołowczuk – fotografie – ryc. 4.8, 4.9, 4.10 a–b, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 a–b, 4.19 a i b, 4.21, 4.68, 4.69, 4.74, 4.77, 4.87, 4.88, 4.92, 4.93, 4.94, 4.95, 4.96, 4.97, 4.98, 4.99, 4.100, 4.101, 4.102, 4.103, 4.104 a–b, 4.105, 4.106, 4.107, 4.108, 4.109 a–b, 4.114, 4.115, 4.116 a–b, 4.117, 4.118, 4.119, 4.120, 4.123, 4.124; opracowanie graficzne – ryc. 4.1, 4.22, 4.28, 4.32, 4.33, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.67.

State of The Netherlands, Ministry of Infrastructure and Environment, Directorate-General Rijkswaterstaat – ryc. 4.80, 4.81, 4.82, 4.83 [63].

Zdjęcia satelitarne z programu Google Earth – ryc. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.11, 4.23, 4.24, 4.26, 4.27, 4.29, 4.30, 4.31, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.44, 4.45, 4.46, 4.47, 4.48, 4.49, 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.59, 4.60, 4.61, 4.62, 4.63, 4.64, 4.65, 4.66, 4.70, 4.71, 4.72, 4.73, 4.84 a–d, 4.85 a–b, 4.66 a–b, 4.110, 4.111 [163].

Zdjęcia z programu Google Earth (Street View) – ryc. 4.91, 4.112, 4.113 [164].

Rozdział 5. Dobór roślinności w zależności od głównych gatunków zwierząt korzystających z przejścia górnego

Radosław Maron – ryc. 5.34 [134].

Alicja Sołowczuk – fotografie – ryc. 5.8, 5.11, 5.12, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.21, 5.22, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.35, 5.36, 5.37; opracowanie graficzne – ryc. 5.6, 5.25.

Zdjęcia satelitarne z programu Google Earth – ryc. 5.1 a–c, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.7 a–d, 5.9, 5.10, 5.13, 5.14, 5.19, 5.20, 5.23, 5.24 [163].

Rozdział 6. Wpływ sposobu zagospodarowania przejść dla zwierząt na poziom hałasu drogowego

Radosław Madej – ryc. 6.6, 6.23, 6.24, 6.53, 6.54 [129].

Radosław Maron – ryc. 6.18, 6.33, 6.57 [134].

Alicja Sołowczuk – fotografie – ryc. 6.10, 6.11, 6.12, 6.15, 6.17, 6.19, 6.22, 6.27, 6.28, 6.29, 6.30, 6.34, 6.44, 6.45, 6.46, 6.55, 6.56; opracowanie graficzne – ryc.: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.8, 6.9, 6.13, 6.14, 6.16, 6.20, 6.21, 6.25, 6.26, 6.31, 6.32, 6.35, 6.36, 6.37, 6.40, 6.41, 6.42, 6.47, 6.48, 6.50 A–E, 6.51 A–E, 6.52 A–E, 6.58 a–b, 6.59 A, B, D i E.

Zdjęcia satelitarne z programu Google Earth – ryc. 6.7, 6.38, 6.39, 6.43, 6.49 A–E [163].

Summary

Sustainable design of wildlife friendly overpass crossings

In the present age of remarkable economic growth and the resultant construction of the networks of expressways environmental problems are bound to occur. The existing landscape is undergoing significant changes and natural habitats are divided into ever smaller areas. Fragmented natural environment poses a significant ecological barrier to the movement of wildlife and migration routes severed with roads may have a barrier-like effect on the wildlife habitation conditions in a given area. Since the second half of the 20th century scientists have been devoting a lot of attention to the problem of sustainable protection of biodiversity and to developing environmental protection strategies. In many countries natural environment is protected by constructing habitat structures that underpassing or overpassing the roads function as environmental compensation measures and ensure favourable conditions for migration to wildlife.

This monograph presents the problems of sustainable design of wildlife friendly overpass crossings. In chapters 2, 3 and 4 the main ecological, construction and environmental factors related to the design of new structures and to provision of enhancements in the approach, entry and deck areas of the existing structures are discussed. In order to convey its contents to the readers in the most effective way the monograph is illustrated with numerous examples of the existing structures. In chapter 5 the problem of planting overpass crossing areas with greenery, taking into consideration a variety of animal species migrating through the overpasses is presented. Recommendations as to the plantings have been formulated based on the query regarding the guidelines in this respect from many countries, on the review of the latest publications on ecological topics and on the analysis of the results of the author's own research conducted over a number of years on various habitat structures with confirmed effectiveness. Chapter 6 contains the results of research on the noise and noise climate which can be used to implement proper enhancements in the habitat crossing and in its surroundings, thus contributing to mitigating the adverse impacts of infrastructure on the natural environment.

Ensuring the permeability of landscape features to animal movements (that is ability of species to migrate freely) is the leading principle and the basis of effective mitigation of habitat fragmentation. The study results and the recommendations contained in the guidelines from many countries can be used to design more wildlife friendly crossings. Both very good designs, resulting in confirmed crossing effectiveness and bad examples to be discouraged are presented herein.

Zusammenfassung

Nachhaltige Planung von tierfreundlichen Tierdurchlässen

Im Zeitalter der rasanten Wirtschaftsentwicklung und des Baus von flächendeckenden Schnellstraßennetzen entstehen Umweltprobleme. Die bestehende Landschaft befindet sich in einem starken Wandel und die natürlichen Lebensräume werden in immer kleinere Flächen unterteilt. Die zerstückelte natürliche Umwelt stellt eine bedeutende ökologische Barriere für Tiere dar und die Überquerung der durch Straßen unterbrochenen Migrationsroute kann das Leben der Wildtiere beeinträchtigen. Seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts befassen sich die Wissenschaftler verstärkt mit dem Problem des nachhaltigen Schutzes der biologischen Vielfalt und mit der Naturschutzstrategie. In vielen Ländern werden Lebensraumobjekte über und unter den Straßen gebaut, die einen natürlichen Ausgleich bieten und den Tieren gute Migrationsbedingungen gewährleisten.

Diese Monographie stellt die Probleme der nachhaltigen Planung von tierfreundlichen Grünbrücken dar. In den Kapiteln 2, 3 und 4 werden die wichtigsten Umwelt-, Bau- und Umweltfaktoren im Zusammenhang mit der Planung neuer Anlagen und der Landnutzung in den Zugangs-, Angriffs- und Migrationszonen bestehender Anlagen behandelt. Die Monographie wurde mit vielen Beispielen bestehender Objekte bereichert, um ihren Inhalt dem Leser bestmöglich zu vermitteln. Kapitel 5 stellt das Problem der Begrünung von Grünbrücken mit Berücksichtigung von verschiedenen Tierarten dar, die dort verkehren. Die empfohlene Bepflanzung wurde auf der Grundlage von untersuchten Richtlinien in vielen Ländern, einer Übersicht von jüngsten Veröffentlichungen zum Thema Umwelt und der Analyse der eigenen mehrjährigen Forschungsergebnisse formuliert, die an Lebensraumobjekten mit bestätigter Funktionalität realisiert wurden. Kapitel 6 enthält Forschungsergebnisse zu Lärm und akustischem Klima, die in Folge entsprechender Bewirtschaftung einer Lebensraumüberquerung negative Infrastrukturauswirkungen auf die natürliche Umwelt verringern können.

Die Sicherstellung der Durchlässigkeit der Landschaft, d. h. der Fähigkeit der Arten, sich frei zu bewegen, ist ein Leitprinzip und eine Grundlage für eine wirksame Verringerung der Lebensraumzerstückelung. Die Analyse von Forschungsergebnissen und Empfehlungen, die in den Richtlinien vieler Länder enthalten sind, liefert Vorschläge für Planung von freundlicheren Wildtierbrücken. Die in der Monographie enthaltenen Beispiele für verschiedene Lösungen stellen sowohl sehr gute Lösungen von Tierdurchlässen mit ihrer bestätigten Funktionalität als auch schlechte Lösungen vor.

