

*Andrzej Czerniak, Ewa Bakinowska, Dariusz Kayzer, Małgorzata Górna*

**FUNKCJONALNOŚĆ PRZEJŚCIA DLA ZWIERZĄT  
NAD DROGĄ KRAJOWĄ NR 5  
W ASPEKCIE MIGRACJI DZIKÓW (*SUS SCROFA*)**

***FUNCTIONALITY OF ANIMAL CROSSING BUILT OVER  
TRUNK ROAD NO. 5  
IN ASPECT OF WILD BOARS (*SUS SCROFA*) MIGRATION***

**Streszczenie**

Wzrastający ruch samochodowy na drogach może zdestabilizować funkcjonowanie populacji zwierząt wymagających dużych przestrzeni. Aby umożliwić bezkolizyjną migrację zwierzyny konieczna jest budowa przejść nad lub pod trasami komunikacyjnymi. Dotychczas nie opracowano odpowiednich wytycznych optymalizujących parametry techniczne przejść górnych oraz właściwych sposobów zagospodarowania ekoduktów.

Szczegółowy zakres monitoringu przejścia kamerą obejmował:

- analizę struktury gatunkowej i wiekowej dzików korzystających z przejścia,
- analizę sezonowości rocznej i dobowej migracji,
- ocenę wpływu czynników fizycznych (hałasu i światła) generowanych przez ruch samochodowy na behavior zwierzyny na przejściu,

Analizy zarejestrowanych sekwencji filmowych dowiodły, że prawidłowo zaprojektowane, zagospodarowane i zarządzane przejście górne jest akceptowane przez zwierzynę i zapewnia ciągłość korytarza migracyjnego przeciętego szlakiem komunikacyjnym z dużym natężeniem ruchu. Z przejścia korzystała zarówno zwierzyna gruba, jak i małe drapieżniki. W ciągu analizowanego roku odnotowano migrację z udziałem ponad 6 tys. dzików. O funkcjonalności modelowego przejścia zadecydowały parametry techniczne obiektu i sposób jego zagospodarowania.

**Słowa kluczowe:** przejście dla zwierzyny, częstość migracji, model logistyczny

### Summary

*Increasing road traffic may destabilise the functioning of these animal populations that require large spaces. Animals that periodically dwell in the vicinity of roads may also be unfavourably impacted by the chemical contamination generated by vehicular traffic. Soils, ground cover and water in watering places are particularly susceptible to contamination. In order to enable free migration of wild animals, it is necessary to construct walkways above or under transport routes. To date there have been no attempts to develop appropriate guidelines for the optimisation of engineering parameters of aboveground walkways and adequate methods of managing ecoducts.*

*The detailed scope of camera monitoring of the walkway included the following:*

- analysis of the species and age structure of wild boars using the walkway,*
- analysis of the annual and daily seasonality of migration,*
- assessment of the impact of physical factors (noise and light) generated by vehicular traffic on the behaviour of wild animals on the walkway,*

*Analyses of the registered film sequences have proven that a correctly designed, developed and managed aboveground walkway is accepted by animals and ensures continuity of the migration corridor bisected by a transport route with a considerable intensity of traffic. The walkway was used by both big game and small predators. During the analysed year, we observed the migration of more than 6 thousand wild boars. Of decisive importance for were its technical parameters and the method of development employed were decisive factors for the functionality of the model walkway.*

**Key words:** *animal crossing, frequency of migration, logistic model*

### WSTĘP

Poszczególne populacje zwierząt wymagają dla właściwego funkcjonowania odpowiednich przestrzeni bytowania [Curzydło 1999; Okarma, Tomek 2008] połączonych korytarzami migracyjnymi. Tymczasem biotopy coraz częściej są fragmentowane obiektami drogowymi z intensywnym ruchem samochodowym. W celu zachowania ciągłości ekologicznej buduje się różnego typu przejścia dla zwierząt nad lub pod drogami [Clevenger, Waltho 2004; Jędrzejewski i in. 2006].

Koszty budowy przejść są bardzo wysokie dlatego konieczna jest analiza funkcjonalności tego rodzaju obiektów wyrażającej się natężeniem migracji przez poszczególne gatunki [Górna, Czerniak 2008]. Zaprezentowane wyniki badań stanowią element realizowanego interdyscyplinarnego projektu badawczego, którego celem jest: określenie fizycznych i chemicznych warunków bytowania zwierzyny w sąsiedztwie przejść, opracowanie optymalnych parametrów technicznych tych obiektów oraz sposobów ich urządzania [Czerniak, Górna 2009].

Celem przeprowadzonych badań była ocena funkcjonalności wybudowanego przejścia nad drogą krajową nr 5. Stopień akceptacji obiektu oceniano na

podstawie intensywności migracji dzików. W 1993 roku stan liczebny dzików w WPN był mały i wynosił około 60 osobników. W przeliczeniu na 1 tys. ha powierzchni dawało to 13 sztuk. W 1997 roku zagęszczenie dzików osiągnęło ponad 40 osobników na 1 tys. ha powierzchni leśnej. Aktualnie w Polsce zauważa się dynamiczny wzrost populacji dzika. Podobną tendencję wykazała inwentaryzacja zwierzyny w WPN z roku 2008 roku. W stosunku do 2007 roku nastąpił ponad dwukrotny wzrost liczebności tego gatunku.

### **OBIEKT BADAŃ**

W roku 2003 w kompleksie leśnym Wielkopolskiego Parku Narodowego (oddziały 189i, 118a oraz 118d) w okolicach miejscowości Dębieńko wybudowano nad najbardziej niebezpieczną przeszkodą migracyjną – drogą krajową nr 5 przejście dla zwierząt typu górnego. Drogę odgrodzono od lasu siatką leśną (typ M-200/22/15), która naprowadza zwierzęta w kierunku przejścia. Przejście wykonane jest w nowatorskiej technologii ze stalowych blach falistych Super-Cor. Na świecie wybudowano dotychczas ponad 500 obiektów inżynierskich o tej konstrukcji, a w Polsce kilkanaście. Całkowita szerokość wiaduktu w koronie nasypu wynosi 33 m, a całkowita długość przejścia łącznie z rampami naprowadzającymi wynosi 168 m.

Obserwacje migrującej zwierzyny przez przejście prowadzono już od listopada 2003 roku (termin oddania przejścia do użytku). Regularne migracje lisów i jenotów stwierdzono już w trakcie realizacji prac wykończeniowych. Zimą z przejścia zaczęły korzystać sarny. W okolicach przejścia oraz na samym przejściu odnotowano również tropy chmar jeleni i watah dzików [Górna, Czerniak 2009]. Analiza śladów i tropów nie umożliwia jednak pełnej oceny funkcjonalności oddanego obiektu. Warunki śniegowe w Wielkopolsce występują tylko przez kilka tygodni w roku, a w pozostałym okresie poprawne odczytanie tropów utrudnia pokrywa roślinna. Najpełniejszą analizę migracji zwierzyny zapewnia stanowisko obserwacyjne wyposażone w kamerę TV.

### **METODA BADAŃ**

Dotychczas ocenę funkcjonalności przejść przeprowadzano metodą tropień. Aby dokładnie rozpoznać strukturę migracji, czas przebywania zwierząt na przejściu i behavior zwierzyny autorzy zastosowali (jako pierwsi w Polsce) prototypowy zestaw monitoringu telewizyjnego (fot. 1).

Zaprojektowany zestaw monitorujący składa się z trzech odrębnych elementów:

– zestawu obserwacyjnego zamontowanego na przejściu wraz z układem zasilającym,

- urządzenia rejestrującego,
- stanowiska do odtwarzania i analiz badawczych.

W skład zestawu obserwacyjnego wchodzi: kamera w hermetycznej, podgrzewanej obudowie, radiowy nadajnik sygnału wizyjnego, oświetlacz podczerwieni z wyłącznikiem zmierzchowym oraz zespół urządzeń zasilających – baterie ogniwo fotowoltaicznych, regulator napięcia, baterie akumulatorów. Pobór mocy całego zestawu w zależności od pory dnia i roku zmienia się w granicach od 10 W do 45 W. Urządzenia zestawu obserwacyjnego zaprojektowano do bezobsługowej pracy przez 24 godziny na dobę.



**Fotografia 1.** Przejście dla zwierząt nad drogą krajową nr 5 oraz zestaw obserwacyjny wraz z układem zasilającym (fot. M. Górna)

**Photo 1.** Animal crossing built over trunk road no.5 and recorder with feeder (photo M. Górna)

Zamontowany układ telewizyjny umożliwia analizę: struktury gatunkowej i wiekowej zwierzyny korzystającej z przejścia, sezonowości rocznej i dobowej migracji, wpływu czynników fizycznych (hałasu i światła) generowanych przez ruch samochodowy na zachowanie zwierzyny na przejściu (fot. 2). Uzyskiwano także informacje o kierunku migracji i czasie przebywania zwierząt na przejściu. Całodobowy zapis sekwencji filmowych migrującej przejściem zwierzyny prowadzono od 2007 roku. Urządzenie umożliwia określenie czasu migracji z dokładnością do 1 sek. W pracy przedstawiono wyniki badań migracji dzików prowadzone przez jeden rok (od marca 2008 r. do lutego 2009 r.).

Zebrane wyniki z zarejestrowanych sekwencji filmowych analizowano dwutorowo, tzn. uwzględniając:

- liczbę migrujących osobników poszczególnych gatunków,
- liczbę zdarzeń w ramach trzech przedziałów czasowych w czasie doby.

Liczbę migrujących sztuk poszczególnych gatunków przedstawiono graficznie z podziałem na miesiące (rys. 1). Liczbę zdarzeń opracowano statystycznie.

Analiza liczby sztuk przechodzących monitorowanym obiektem może nie w pełni obrazować skłonność poszczególnych gatunków do pokonywania przejścia. W przypadku stadnego przekraczania obiektu (chmara jeleni i wataha dzików) decyzję o migracji przejściem podejmuje osobnik przewodzący (licówka i locha). W związku z tym podjęto próbę przeprowadzenia analizy skłonności przekraczania obiektu traktując zarówno migrację jednej sztuki, jak i watahy jako zdarzenie tej samej rangi. W ten sposób starano się wyeliminować niedoskonałość analizy wykonanej na podstawie samej liczebności. Hipotezą wyjściową było założenie, że np. u dzików decyzję o migracji podejmuje locha, a nie warchlaki.

#### OPIS ZASTOSOWANEGO MODELU LOGISTYCZNEGO

Celem analizy statystycznej było porównanie prawdopodobieństwo zdarzeń zarejestrowanych przez zestaw monitorujący modelowe przejście dla zwierząt. Jako zdarzenie przyjęto przejście pojedynczych sztuk dzików lub watah.

Analizę migracji dzików przeprowadzono w ramach poszczególnych miesięcy i czterech pór roku. Zdarzenia opisujące liczbę przekroczeń przejścia przez dzika lub watahy w ciągu doby zostały zaklasyfikowane do trzech rozłącznych przedziałów czasowych: pory wieczorno-nocnej (18:01–24:00), pory nocno-porannej (00:01–06:00) oraz pory dziennej (06:01–18:00). Dla porównania częstości przekraczania przejścia przez dzika w różnych okresach czasowych oraz w różnych porach roku zastosowano model logistyczny [Agresti 1984; Rao, Toutenburg 1999]. Przyjęto, że pierwszą grupę stanowiły miesiące wiosenne (marzec, kwiecień, maj), drugą – miesiące: czerwiec, lipiec, sierpień (okres letni), trzecią: wrzesień, październik, listopad (okres jesienny), czwartą: grudzień, styczeń, luty (okres zimowy).

Stosując model logistyczny, założono, że w eksperymencie badane są 4 niezależne obiekty (pory roku), reprezentowane przez liczbę przekroczeń podlegającą klasyfikacji z podziałem na wyróżnione 3 okresy czasowe. Liczba przekroczeń przejścia przez dzika lub watahy (liczba zdarzeń) została przedstawiona w tabeli 1. Niech  $\pi_{ji}$  oznacza prawdopodobieństwo przynależności badanej jednostki do  $j$ -tej kategorii (okres czasowy) odpowiadającej  $i$ -temu obiektowi (pory roku). Wówczas model logistyczny można zapisać w następującej postaci [McCullagh, Nelder 1989]:

$$\log \frac{\gamma_{ji}}{1 - \gamma_{ji}} = \theta_j + \tau_i, \quad j = 1, 2 \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

gdzie  $\theta_j$  jest granicą  $j$ -tej kategorii,  $\tau_i$  jest efektem  $i$ -tego obiektu oraz  $\gamma_{ji}$  jest  $j$ -tym skumulowanym prawdopodobieństwem odpowiadającym jednostkom  $i$ -tego obiektu ( $\gamma_{ji} = \pi_{1i} + \pi_{2i} + \dots + \pi_{ji}$ ). Prawdopodobieństwa te wyliczone z modelu (1) przyjmują postać:

$$\gamma_{ji} = \frac{\exp(\theta_j + \tau_i)}{1 + \exp(\theta_j + \tau_i)}, \quad j = 1, 2 \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

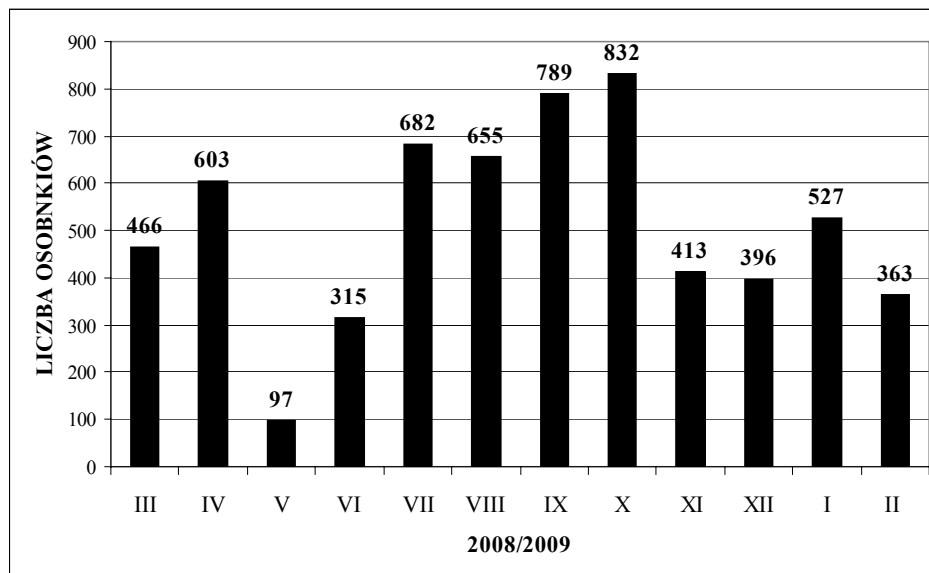
[Miller i in. 1993; Bakinowska, Kala 2007]. Stosując ważoną metodę najmniejszych kwadratów, na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 1, otrzymano oszacowania nieznanych parametrów  $\theta_j$  i efektów obiektowych  $\tau_i$  (tab. 2). Korzystając z tych oszacowań, zgodnie z modelem (2), wyliczono estymatory skumulowanych prawdopodobieństw  $\hat{\gamma}_{ji}$ . Oceny tych prawdopodobieństw zostały przedstawione w tabeli 2, przy czym  $\hat{\gamma}_{1i}$  oznacza oszacowane prawdopodobieństwo przejścia przez przejście dzika w porze wieczorno-nocnej w ustalonej  $i$ -tej porze roku, natomiast  $\hat{\gamma}_{2i}$  oznacza oszacowane sumy prawdopodobieństw przejścia przez przejście dzika w porze wieczorno-nocnej oraz w porze nocno-porannej dla ustalonej  $i$ -tej pory roku.

## WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Analizy zarejestrowanych sekwencji filmowych wykazały, że z przejścia korzystała zarówno zwierzyna gruba, jak i małe drapieżniki. W ciągu analizowanego roku odnotowano migrację z udziałem: 61 386 dzików oraz 1,5 tys. saren, 1,4 tys. jeleni, 1,5 tys. lisów, 137 jenotów, 134 kun, 66 borsuków. Łącznie odnotowano w ciągu roku migrację 11 tys. sztuk zwierzyny grubej i drobnej.

Migrację dzików w poszczególnych miesiącach przedstawia rysunek 1. Dziki najczęściej korzystały z przejścia od lipca do października oraz w kwietniu. W każdym z wymienionych miesięcy zarejestrowano ponad 600 sztuk, a w październiku aż 832 osobniki. Natomiast w maju na przejściu pojawiło się tylko 97 sztuk.

Dziki częściej migrowały w porze wieczorno-nocnej (987 zdarzeń) (tab. 1). W porze nocno-porannej wystąpiło 807 zdarzeń, a w dzień 234 zdarzenia. W dzień najczęściej dziki migrowały w październiku (53) i w grudniu (57). Analizując pory roku, stwierdzono, że najwięcej zdarzeń z udziałem dzików miało miejsce jesienią (678) i zimą (573). Latem zarejestrowano łącznie 456 zdarzeń, a wiosną 321.



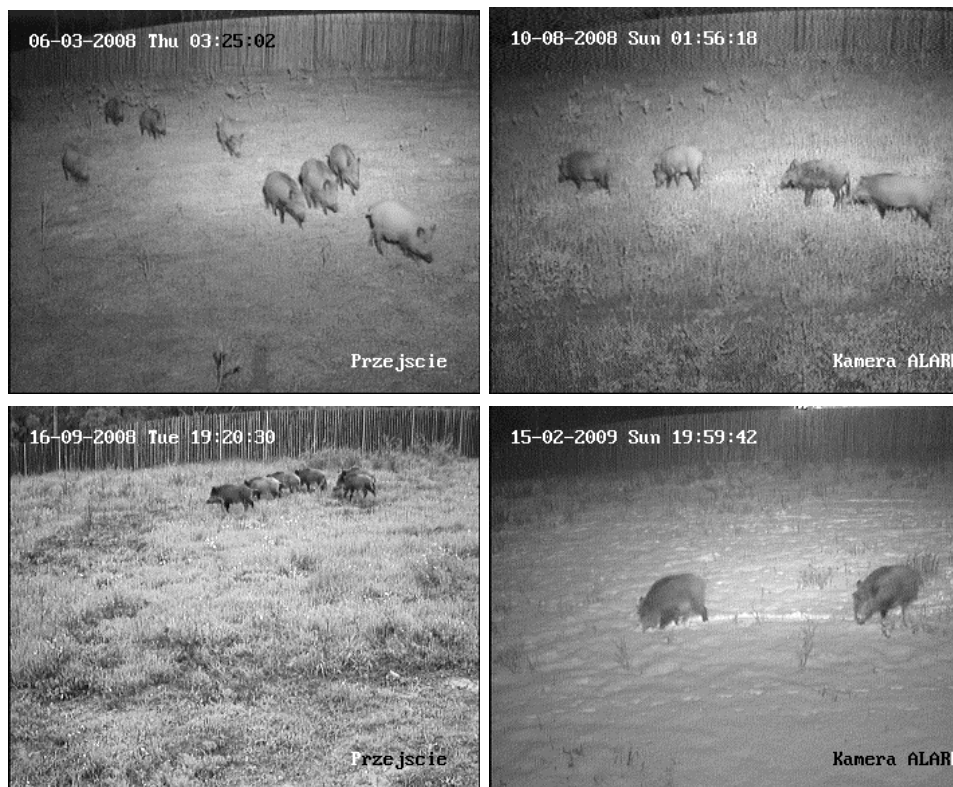
**Rysunek 1.** Migracja dzika (*Sus scrofa*) przejściem dla zwierząt nad drogą krajową nr 5 w Wielkopolskim Parku Narodowym

**Figure 1.** Wild boars (*Sus scrofa*) migration using animal crossing built over trunk road no.5 in the Wielkopolski National Park

**Tabela 1.** Liczba zdarzeń, tzn. przejść pojedynczych dzików lub watah przez przejście nad drogą krajową nr 5

**Table 1.** Number of events, single wild boar or bands using animal crossing built over trunk road no.5

Miesiąc	Pora wieczorno-nocna (18:01–24:00)	Pora nocno-poranna (00:01–06:00)	Pora dzienna (06:01–18:00)	Suma zdarzeń	
marzec	84	42	1	127	wiosna 321
kwiecień	88	66	13	167	
maj	9	13	5	27	
czerwiec	19	52	10	81	lato 456
lipiec	63	102	5	170	
sierpień	95	101	9	205	
wrzesień	107	101	35	243	jesień 678
październik	128	110	53	291	
listopad	79	45	20	144	
grudzień	87	69	57	213	zima 573
styczeń	149	49	18	216	
luty	79	57	8	144	
Suma	987	807	234	2028	



**Fotografia 2.** Przykładowe sekwencje filmowe migrujących dzików przejściem dla zwierząt nad drogą krajową nr 5 (uwaga data i godzina migracji widoczna na zdjęciach) (fot. M. Górna)

**Photo 2.** Exemplary film sequences of wild boars migrations by animal crossing built over trunk road no.5 (notice: date and time of migrations visible on the photo) (photo M. Górna)

W tabeli 2 przedstawiono wartości umownych granic pomiędzy kategoriami, efektów obiektowych oraz prawdopodobieństw skumulowanych. Na ich podstawie stwierdzono, że częstość przejść dzika w wyznaczonych okresach czasowych różni się pomiędzy porami roku. Częstość przekroczeń przejścia dla zwierząt przez dziki różniła się wysoce istotnie wiosną i latem, a jesienią istotnie w porównaniu do przeciętnej częstości przekraczania przejścia przez dziki w różnych porach roku. Wartości efektów obiektowych  $\tau_i$  oraz wielkości prawdopodobieństw skumulowanych  $\hat{\gamma}_{ji}$  świadczą o tym, że dziki w porze wieczorno-nocnej przekraczały przejście częściej wiosną i zimą niż latem i jesienią, a w porze letniej rzadziej. Ponadto należy podkreślić, że zwierzęta przekraczały przejście najczęściej wiosną w porze wieczorno-nocnej.



**Tabela 2.** Wartości umownych granic pomiędzy kategoriami  $\theta$ , efektów obiektowych  $\tau$ , prawdopodobieństw skumulowanych  $\gamma_{ji}$ **Table 2.** Values of conventional cutpoints of categories  $\theta$ , of treatment effects  $\tau$  and cumulative probabilities  $\gamma_{ji}$ 

		$\theta_i$		
$\theta_1$		-0,014		
$\theta_2$		1,828		
$\tau_i$		$\hat{\gamma}_{ji}$	$\hat{\gamma}_{1i}$	$\hat{\gamma}_{2i}$
$\tau_1$ (wiosna)	0,304**	$\hat{\gamma}_{j1}$ (wiosna)	0,572	0,894
$\tau_2$ (lato)	-0,257**	$\hat{\gamma}_{j2}$ (lato)	0,433	0,828
$\tau_3$ (jesień)	-0,143*	$\hat{\gamma}_{j3}$ (jesień)	0,461	0,844
$\tau_4$ (zima)	0,096	$\hat{\gamma}_{j4}$ (zima)	0,520	0,873

\* istotność na poziomie  $\alpha = 0.05$ \*\* istotność na poziomie  $\alpha = 0.01$ 

### PRZYKŁADOWE ZACHOWANIA DZIKÓW NA PRZEJŚCIU

Dziki korzystały z przejścia zazwyczaj w grupach, ale dość często obserwowano migrujące pojedynki. Watahy często migrowały dwa razy w ciągu tej samej doby tzn. z północy na południe i w przeciwnym kierunku. Dziki migrowały stępem i klusem, zdarzał się także galop i sporadycznie skoki. Odyńce przechodziły najczęściej powoli. Dziki często traktowały przejście jako miejsce żerowania. Dla przykładu 23 czerwca wataha składająca się z 3 dorosłych osobników i 5 młodych buchtowała na przejściu 5 minut. W dniu 27 lipca 2 dorosłe i 5 młodych żerowały na przejściu aż 14 minut, a 31 sierpnia 5 osobników – aż 15 minut na środku przejścia. Zdarzało się, że dziki migrowały przez przejście jednocześnie z innymi gatunkami; np. 4 sierpnia dzik razem z lisem, 11 października dziki (2 dorosłe osobniki i 3 młode) razem z sarną z koźlęciem, 20 listopada dzik razem z lisem, 15 stycznia dziki 1 dorosły i 3 młode razem z bykiem.

### WNIOSKI

1. Zarejestrowane sekwencje filmowe wskazują, że monitorowane przejście jest akceptowane przez dziki, bowiem korzystały one z przejścia na ogół bez obaw nawet w ciągu dnia.

2. Stwierdzono, że częstotliwość migracji różni się w poszczególnych porach roku i miesiącach. Wiosną i zimą dziki częściej przekraczały przejście

w porze wieczorno-nocnej niż latem i jesienią. W porze nocno-porannej najrzadziej przekraczały przejście wiosną, a najczęściej latem i jesienią.

3. Czas pokonywania i przebywania dzików na przejściu był różny i wynosił od kilku do kilkunastu minut. Zachowanie migrującej zwierzyny nie zawsze było zdeterminowane natężeniem ruchu samochodowego.

4. O funkcjonalności przejścia decydują parametry techniczne obiektu i sposób jego zagospodarowania. Zaprezentowane wyniki badań świadczą, że właściwie umiejscowione przejście, dobrze wkomponowane w otaczające środowisko leśne, z prawidłowo zaprojektowanymi rampami naprowadzającymi jest akceptowane przez dziki. Analizowane przejście o szerokości 33 m, w tym konkretnym przypadku (tylko 2 pasy ruchu) należy uznać jako funkcjonalne. Należy jednak mieć na uwadze, że w przypadku budowy przejść nad drogami o więcej niż dwu pasach ruchu szerokość obiektów powinna być większa.

#### BIBLIOGRAFIA

- Agresti A. *Analysis of ordinal categorical data*. Wiley, New York 1984, s. 287.
- Bakinowska E., Kala R. *An application of logistic models for comparison of varieties of seed pea with respect to lodging*. *Biometrical Letters* 44(2), 2007, s. 143–154.
- Clevenger A.P., Waltho N. *Long-term, year-round monitoring of wildlife crossing structures and the importance of temporal and spatial variability in performance studies*. *Proceeding of the 2003 International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC, 2004, s. 293–302.
- Curzydło J. *Problem ekologicznych mostów i przepustów dla zwierząt wolno żyjących w Polsce*. Międzynarodowe Seminarium. Ekologiczne przejścia dla zwierząt wolno żyjących i przydrożne pasowe zadrzewienia – niezbędnymi składnikami nowoczesnych inwestycji transportowych. (Autostrady i linie kolejowe). Katedra Ekologicznych Podstaw Inżynierii Środowiska AR w Krakowie, 1999, s. 169–170.
- Czerniak A., Górna M. *Warunki bytowania zwierzyny w sąsiedztwie dróg*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Ochrona Środowiska i Estetyka a Rozwój Infrastruktury Drogowej. Kazimierz Dolny, 7–9.10.2009r. Materiały konferencyjne, s. 93–113.
- Górna M., Czerniak A. *Analiza migracji zwierzyny leśnej przejściami wybudowanymi nad szlakami komunikacyjnymi*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, 2008, s. 219–234.
- Górna M., Czerniak A. *Migracja jelenia szlachetnego *Cervus elaphus* L. przejściami dla zwierząt nad drogą krajową nr 5 w Wielkopolskim Parku Narodowym*. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej. Zdobycze Nauki i Techniki dla Ochrony Przyrody w Lasach*, pod redakcją Dariusza Anderwald, Rogów 2009, r.11, z. 2 (21), 2009, s. 109–116.
- Jędrzejewski W., Nowak S., Kurek R., Mysłajek R.W., Stachura K. *Zwierzęta a drogi. Metody ograniczania negatywnego wpływu dróg na populacje dzikich zwierząt*. 2006.
- McCullagh P., Nelder J. A. *Generalized linear models*. 2nd ed. Chapman and Hall, London 1989, s. 511.
- Miller M. E., Davis C.H. S., Landis J. R. *The analysis of longitudinal polytomous data: generalized estimating equations and connections with weighted least squares*. *Biometrics* 49, 1993, s. 1033–1044.
- Okarma H., Tomek A. *Łowiectwo*. Wydawnictwo Edukacyjno-Naukowe H<sub>2</sub>O, Kraków 2008, s. 215–219.
- Rao C. R., Toutenburg H. *Linear Models*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York 1999, s. 427.

Dr hab. inż. Andrzej Czerniak prof. nadzw.  
Dr inż. Małgorzata Górna  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Katedra Inżynierii Leśnej  
Mazowiecka 41, 60-623 Poznań  
aczerni@up.poznan.pl

Dr Ewa Bakinowska  
Dr Dariusz Kayzer  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych  
Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań  
ewabak@up.poznan.pl  
dkayzer@up.poznan.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński*