

Ptaki i napowietrzne linie elektroenergetyczne. Rodzaje oddziaływań, ich przyczyny i znaczenie dla populacji ptasich

Karol Kustusch, Andrzej Wuczyński, Arkadiusz Gorczewski

Napowietrzne linie elektroenergetyczne należą do utrwalonych, antropogenicznych elementów współczesnego krajobrazu. Na całym świecie użytkuje się ponad 65 milionów kilometrów linii średniego i wysokiego napięcia (Jenkins et al. 2010), a ich zagęszczenie zależy od stopnia zurbanizowania regionu. Choć często niezauważana przez ludzi, obecność linii elektroenergetycznych (LEE – w dalszej części w tym samym znaczeniu użyto terminów linie energetyczne, linie przesyłowe) nie pozostaje bez wpływu na środowisko przyrodnicze. Dotyczy to szczególnie ptaków jako organizmów korzystających z przestrzeni powietrznej. Osobniki czy populacje ptaków podlegają stałym i zróżnicowanym oddziaływaniom, zarówno pośrednim, polegającym na przekształcaniu siedlisk wskutek budowy linii, jak i bezpośrednim, w szczególności dotyczącym kolizji z przewodami i porażeń prądem. Ocenia się, że LEE są drugim (ok. 130 mln ofiar rocznie w Stanach Zjednoczonych), po budynkach i szklanych powierzchniach, najpoważniejszym czynnikiem śmiertelności ptaków pochodzenia antropogenicznego, powodującym większe straty niż kolizje z pojazdami, koty domowe czy elektrownie wiatrowe (Erickson et al. 2001). Z drugiej strony, LEE stanowią element urozmaicający krajobraz, oddziałując pozytywnie na różnorodność ptaków (Tryjanowski et al. 2013). Znałe są także oddziaływania odwrotne, polegające na ograniczaniu przez ptaki sprawności funkcjonowania linii, mogących mieć poważne skutki ekonomiczne (Chrzan et al. 2008).

Rozległość wzajemnych oddziaływań ptaków i infrastruktury elektroenergetycznej sprawiła, że kwestie te są obecnie uwzględnione w międzynarodowych i krajowych dokumentach dotyczących polityk energetycznych, rozwiązań technicznych czy prawa ochrony przyrody. Członkostwo w Unii Europejskiej oraz sygnowanie konwencji międzynarodowych, w szczególności Konwencji Berneńskiej, zobowiązuje Polskę do uwzględnienia w krajowych przepisach kwestii minimalizacji negatywnego oddziaływania sieci elektroenergetycznych na ptaki (Schürenberg et al. 2010, GDOŚ 2011). Równocześnie wiadomo, że krajowy system energetyczny jest technicznie przestarzały i wymaga modernizacji, zmierzających do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju (Cybruch 2012). Ponadto w ostatnich latach w Polsce obserwuje się gwałtowny rozwój energetyki niekonwencjonalnej, zwłaszcza wiatrowej, skutkujący wielką liczbą budowanych lub planowanych linii lokalnych wyprowadzających moc wyprodukowaną przez farmy wiatrowe (Wuczyński 2009).

Realizacje tak dużych inwestycji wymagają przeprowadzenia ekspertyz środowiskowych, które winny się opierać na jasnych zasadach i zaleceniach dotyczących m.in. oddziaływania LEE na awifaunę. Wytyczne takie w chwili obecnej są dopiero opracowywane (Maniakowski et al. 2013). Tymczasem wiele ekspertyz zostało już zrealizowanych lub jest aktualnie realizowanych przy udziale licznego grona krajowych ornitologów, a także, niestety, osób nie posiadających wystarczającego przygotowania merytorycznego. Nierzadko od

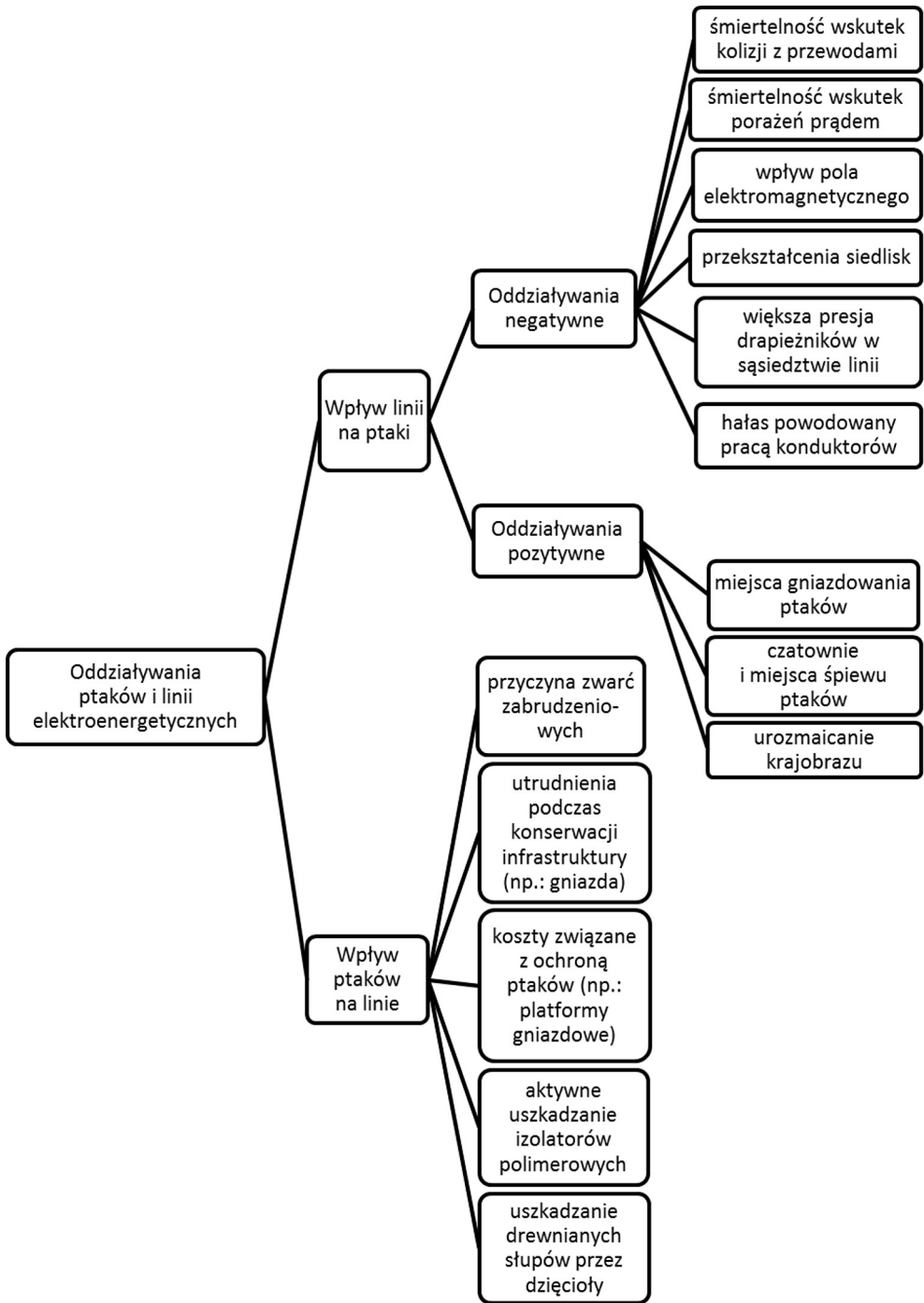
ich wiedzy i doświadczenia zależy powodzenie inwestycji oraz jej skutki przyrodnicze. Istnieje więc potrzeba dostarczenia podstawowych informacji na temat oddziaływań ptaków i sieci elektroenergetycznych. Mimo że literatura światowa obfituje w opracowania tego typu (Bevanger 1998, Manville 2005, Jenkins et al. 2010, Martin 2011), odczuwalny jest brak odpowiednich podsumowań w polskiej literaturze ornitologicznej. Istnieje kilka publikacji cząstkowych prezentujących wybrane aspekty teoretyczne lub propozycje praktycznych działań minimalizujących negatywny wpływ LEE na ptaki (Cempulik & Ostański 1995, Chrzan et al. 2008, Kaługa et al. 2011). Ważnym źródłem informacji dotyczącym tego zagadnienia jest raport sporządzony przez BirdLife International (Haas et al. 2005, dostępny w wersji polskiej online <http://www.gdos.gov.pl/Articles/view/3941/>). Dane zawarte w tym raporcie są jednak niekompletne lub nieaktualne, przede wszystkim nie uwzględniają ważnych publikacji przeglądowych, jakie ukazały się w ostatniej dekadzie, a ponadto brak w nich odniesienia do polskich warunków, np. typów siedlisk czy gatunków ptaków.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie wzajemnych oddziaływań ptaków i sieci napowietrznych linii elektroenergetycznych. Koncentrujemy się na negatywnym wpływie sieci na ptaki, gdyż skala oddziaływań odwrotnych jest nieporównanie mniejsza. Przedstawiamy rodzaje oddziaływań oraz ocenę ich skali, w tym znaczenie dla populacji ptaków. Niniejsze opracowanie pomija obszerną kwestię działań minimalizujących negatywny wpływ infrastruktury elektroenergetycznej na ptaki. Ten ważny aspekt wymaga szerokiego oddzielnego opracowania.

Rodzaje i skala wzajemnego oddziaływania ptaków i linii elektroenergetycznych

Relacje między ptakami a infrastrukturą elektroenergetyczną mają złożony charakter (rys. 1). Do najważniejszych i najlepiej poznanych, z racji negatywnego oddziaływania na ptaki, należą zderzenia z przewodami oraz porażenia prądem. W wyjątkowych przypadkach linie elektroenergetyczne są głównym czynnikiem śmiertelności niektórych zagrożonych gatunków ptaków (Manville 2009). Przypuszcza się, że również pole elektromagnetyczne (PEM) emitowane przez linie może mieć pewien wpływ na niektóre gatunki ptaków gniazdujące w ich pobliżu. Jednak sprecyzowanie stopnia oddziaływania PEM wymaga dalszych badań (Fernie & Reynolds 2005). Przekształcenia siedlisk związane z budową linii, a w szczególności prowadzenie inwestycji w obrębie terenów zadrzewionych, pozbawia niektóre gatunki ptaków miejsc gniazdowania i prowadzi do fragmentacji siedlisk (Bevanger 1998). Istnieją orientacyjne szacunki określające skalę negatywnych oddziaływań LEE na ptaki. W przeliczeniu na kilometr linii liczba ofiar kolizji może oscylować między 0,1 a 500 rocznie (Haas et al. 2005, Jenkins et al. 2010). W Holandii szacuje się, że łącznie w wyniku zderzenia z liniami ginie rocznie ok. miliona ptaków (Koops 1994), w Stanach Zjednoczonych 1–175 milionów (Manville 2009), a w skali światowej może to być nawet miliard ofiar zderzeń każdego roku (Hunting 2002, tab. 1). W przypadku porażenia prądem, zaledwie pojedynczy słup potrafi uśmiercić od kilku do kilkudziesięciu ptaków rocznie (Haas et al. 2005). Podczas jednego dnia poszukiwań, wzdłuż 30 km odcinka linii w Rosji, stwierdzono 266 ofiar porażenia pochodzących z okresu poprzednich 2–3 lat (Saltykov 2011).

Niekiedy jednak ptaki czerpią korzyści z obecności linii energetycznych. Słupy LEE służą jako czatownie oraz regularne miejsca gniazdowania takim gatunkom jak: bocian biały *Ciconia ciconia*, kruk *Corvus corax*, rybołów *Pandion haliaetus* (Bednorz 2000, Tryjanowski 2001, Tryjanowski et al. 2006, Bai et al. 2009). Na terenach uprawnych pośrednio wzbogacają bioróżnorodność tworząc niektórym gatunkom siedliska gniazdowe (Tryjanowski et al. 2013).



Rys. 1. Rodzaje wzajemnych oddziaływań ptaków i linii elektroenergetycznych
Fig. 1. Types of interactions between birds and powerlines

Tabela 1. Wyniki wybranych badań dotyczących śmiertelności ptaków w wyniku zderzeń z liniami i porażenia prądem elektrycznym

Table 1. Results of selected studies on bird mortality due to collisions and electrocution from power-lines. (1) – country, (2) – years, (3) – mortality scale, (4) – remarks, (5) – source

Obszar (1)	Lata (2)	Skala śmiertelności (3)	Uwagi (4)	Źródło (5)
Oceny ogólne				
USA		1–175 milionów/rok		Manville 2009
Holandia		1 milion/rok		Koops 1994
Serbia		10–100 tys./rok		Prinsen et al. 2011
Rosja		10 milionów/rok		Prinsen et al. 2011
Świat		miliard/rok		Hunting 2002
Natężenie śmiertelności				
Europa		0,1–500 ofiar/km	dotyczy kolizji	Haas et al. 2005
Hiszpania	2001–2010	8,2 ofiar/km/miesiąc	dotyczy kolizji	Barrientos et al. 2012
Kazachstan	2006	0,9–8,6 ofiar/km/miesiąc	głównie ofiary porażenia	Lasch et al. 2010
Wyniki indywidualnych badań				
9,6 km przewodów elektroenergetycznych, USA	1980–1982	633 ofiary kolizji	26% <i>Anseriformes</i>	Faanes 1987
105 km przewodów elektroenergetycznych, Arabia Saudyjska	2008–2011	532 ofiary kolizji	47% <i>Ciconia ciconia</i>	Shobrak 2012
30 km przewodów elektroenergetycznych, Rosja	2011	266 ofiar kolizji	głównie <i>Accipitriformes</i> , ofiary porażenia prądem	Saltykov 2011

Obecność ptaków oddziałuje także na linie energetyczne. Budowane przez ptaki gniazda i ptasie odchody przyczyniają się niekiedy do zwarcz zabrudzeniowych. Gniazda utrudniają prowadzenie prac konserwacyjnych sieci, a montaż platform gniazdowych, znakowanie przewodów czy inne działania minimalizujące generują dodatkowe koszty funkcjonowania linii (Chrzan et al. 2008, Kronenberg et al. 2013).

Kolizje ptaków z liniami elektroenergetycznymi

Przyczyny kolizji

Cechy ptaków zwiększające ryzyko kolizji

Na ryzyko wystąpienia kolizji wpływają czynniki związane z lokalizacją i parametrami technicznymi linii, a także cechami potencjalnych ofiar, takimi jak ich morfologia i parametry lotne, specyfika widzenia, wiek, skłonność do tworzenia stad i inne (Alerstam 1990, Bevanger 1994, 1998, Alonso & Alonso 1999b, Richardson 2000, Larsen & Clausen 2002, Everaert & Stienen 2006). Najważniejsze z rozpoznanych czynników omówiono poniżej.

Warunki zewnętrzne i parametry lotu

Do zachowań zwiększających ryzyko kolizji należą aktywność nocna i zmierzchowa (o świcie i wieczorem), powietrzne loty tokowe, pościg za ofiarą czy też stadne przemieszczanie się ptaków (Alonso & Alonso 1999a, Jenkins et al. 2010). Zachowania takie prowadzą do mniejszego skupiania uwagi, ograniczonej przewidywalności i opóźnionych reakcji, jak to ma miejsce na przykład u ptaków podążających za osobnikiem wiodącym grupę (Alonso & Alonso 1999a, Pettersson 2005).

Na ryzyko kolizji wpływa również wysokość przelotu zależna od gatunku ptaka, topografii, pory dnia czy warunków atmosferycznych. Na wysokość przelotu wpływa również jego dystans, tj. odległość do punktu docelowego. Przeloty lokalne odbywają się często na bardziej niebezpiecznym, kolizyjnym pułapie niż długodystansowe przeloty migracyjne, zwłaszcza nocne, które mogą odbywać się na wysokości kilku kilometrów. Ogólnie jednak pułap przelotu zależy od ukształtowania terenu i warunków pogodowych, w tym pionowego rozmieszczenia sprzyjających wiatrów (Dokter et al. 2011, 2013).

Niekorzystne warunki pogodowe, takie jak mgła, deszcz i śnieg, ograniczają widoczność, a tym samym efektywność omijania przeszkód. Podczas silnych wiatrów, a także przy niskiej podstawie chmur (większa wilgotność) ptaki obniżają wysokość przelotu co zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia kolizji (Elkins 1983, Richardson 2000, Shamoun-Baranes et al. 2006). Należy zaznaczyć, że wysokość przelotu zależy również w dużym stopniu od gatunku i przyjmowanej przez niego strategii migracji. Większą zależność od pogody wykazują gatunki wykorzystujące prądy konwekcyjne niż te, które preferują lot aktywny (Shamoun-Baranes et al. 2006).

Percepcja wzrokowa ptaków

Rozpowszechnienie kolizji z przeszkodami, mimo doskonałego wzroku ptaków, może wynikać z różnego od ludzkiego sposobu percepcji otaczającego środowiska. Różnice występują na każdym poziomie organizacji, obejmując między innymi budowę siatkówki, pole widzenia i przetwarzanie przez mózg uzyskanej informacji wizualnej (Martin & Osorio 2008, Hunt et al. 2009). W przypadku większości ptaków obszar widzenia stereoskopowego przed dziobem, uzyskiwany przez nakładanie się peryferycznych pól widzenia bocznie umieszczonych oczu, jest wąski. Równocześnie towarzyszy mu obecność różnej wielkości obszarów niewidzenia (tzw. martwe lub ślepe pola widzenia), znajdujących się nad i/lub pod obszarem widzenia dwuocznego. Im stopień pionowej rozciągłości widzenia dwuocznego jest dłuższy tym mniejsze są pola ślepe. Zgubna właściwość obszarów niewidzenia może ujawnić się w locie. W sytuacji kiedy lecący ptak skieruje głowę ku dołowi (np. poszukując pożywienia) obszar niewidzenia zorientowany jest w kierunku lotu, a ptak w danej chwili nie widzi ewentualnych przeszkód na swej trasie. Co więcej, widzenie stereoskopowe u ptaków nie dostarcza obrazu o wysokiej rozdzielczości i ma zastosowanie szczególnie w odniesieniu do obiektów znajdujących się w bezpośredniej bliskości ptaka, a nie podczas patrzenia w dal (Martin 2011). Ptaki o stosunkowo małych zdolnościach dwuocznego widzenia i dużych obszarach niewidzenia to np. szponiaste, żurawie i dropie *Otididae*, a więc częste ofiary kolizji z LEE (Martin & Shaw 2010).

W kategoriach ewolucyjnych LEE są zjawiskiem nowym, zakłócającym przestrzeń powietrzną. Ptaki podczas przemieszczania się są raczej skoncentrowane na obserwowaniu otoczenia pod kątem wykrycia powietrznego drapieżnika, poszukiwania ofiary, żerowiska lub miejsca odpoczynku, a nie na wypatrywaniu mało widocznej przeszkody w postaci przewodów (Martin 2011).

Reasumując, budowa aparatu wzroku i wynikający stąd sposób percepcji może mieć silny związek ze zjawiskiem kolizji z liniami, gdyż:

- niektóre ptaki w trakcie lotu mogą nie dostrzegać przeszkód znajdujących się na trasie ich przelotu; nawet w sytuacji patrzenia w kierunku lotu uzyskiwany obraz może charakteryzować niska rozdzielczość, bowiem widzenie szczegółowe uzyskiwane jest dzięki bocznym polom widzenia,
- ewolucyjnie nabyta, ograniczona percepcja w stosunku do nieprzewidywalnych dla ptaków, antropogenicznych obiektów może powodować niedostrzeganie tych obiektów nawet, gdy lecący ptak patrzy przed siebie,
- specyficzna dla ptaków prędkość lotu i jej spowolnienie w reakcji na przeszkodę mogą być niedostosowane do tempa uzyskiwanego sygnału wzrokowego, zwłaszcza w warunkach niedostatecznej widoczności (Martin 2011).

Wiek ptaków

Wśród ofiar kolizji uwagę zwraca wysoki odsetek osobników młodocianych (Rose & Baillie 1989, Bevanger 1998, Bayle 1999, Drewitt & Langston 2008). Może to wynikać z niewielkiego doświadczenia młodych osobników i dużej intensywności przemieszczania się w okresie dyspersji pługowej (Bevanger 1998, Drewitt & Langston 2008). Stąd niektórzy zakładają, że niższe ryzyko kolizji powinno charakteryzować dorosłe osobniki osiadłych gatunków ptaków (znajomość lokalizacji LEE). Na wysoki odsetek osobników młodocianych wśród ofiar kolizji wpływa także fakt, że osobniki takie stanowią na ogół większość populacji danego gatunku (Bevanger 1998).

Lokalizacja inwestycji a stopień zagrożenia dla ptaków

Ważnym czynnikiem wpływającym na ryzyko kolizji jest rozmieszczenie LEE (Winkelman 1992, Bevanger 1994). Wysoka śmiertelność ptaków notowana jest w przypadku lokalizacji inwestycji w pobliżu miejsc regularnych koncentracji ptaków (żerowiska, noclegowiska, terytoria lęgowe), jak również na trasie ich przelotów związanych z migracją lub przemieszczania się pomiędzy żerowiskami a noclegowiskami (np. Scott et al. 1972, Faanes 1987, Exo et al. 2003, Everaert & Stienen 2006). Wiele gatunków ptaków przemieszcza się wzdłuż naturalnych elementów krajobrazu, takich jak doliny rzeczne, wybrzeża morskie czy grzbiety górskie. Realizacja inwestycji w obrębie takich elementów krajobrazu potęguje ryzyko wystąpienia kolizji (Alerstam 1990, Richardson 2000).

Zatem z punktu widzenia lokalizacji LEE, wysokie ryzyko kolizji występuje:

- na obszarach wysokiej koncentracji ptaków w okresie lęgowym lub podczas migracji,
- na obszarach podmokłych i bagiennych, wzdłuż wybrzeży oraz na stepach,
- kiedy LEE przecinają trasy migracji ptaków, szczególnie migrantów nocnych (Haas et al. 2005).

Rodzaje linii elektroenergetycznych, a stopień zagrożenia dla ptaków

Każdy z trzech głównych rodzajów LEE charakteryzuje inny stopień zagrożenia kolizjami (tab. 2). W przypadku linii niskiego napięcia ryzyko jest najmniejsze dzięki częstemu stosowaniu przewodów izolowanych, co zwiększa ich grubość, a tym samym widoczność. Linie średniego napięcia stwarzają większe zagrożenie ze względu na stosowanie najczęściej cienkich przewodów. Choć przewody zwykle umieszczone są na jednym poziomie, to niekiedy występuje tutaj, umieszczony wyżej przewód odgromowy, zwiększający możliwość kolizji. Największe zagrożenie stwarzają linie wysokiego napięcia. Częsty jest tutaj wielopozomowy układ przewodów z kablem odgromowym umieszczonym wysoko ponad nimi (Haas et al. 2005). Linie tego typu montowane są na najwyższych słupach energetycznych, co przekłada się na dużą wysokość strefy kolizyjnej, a także większą rozpiętość pręseł. Ta

Tabela 2. Rodzaje linii elektroenergetycznych, stopień ich zagrożenia dla ptaków i cechy wpływające na jego poziom

Table 2. Types of powerlines, their threat to birds and factors affecting it. (1) – type of powerline, (2) – risk of collision, (3) – risk of electrocution

Ryzyko	Rodzaj linii (1)		
	niskiego napięcia	średniego napięcia	wysokiego napięcia
Ryzyko kolizji (2)	niewielkie: – nisko zawieszono – jednopiętrowe rozmieszczenie przewodów – zwykle grube, dobrze widoczne przewody	niewielkie, jednak realne: – nisko zawieszono – jednopiętrowe rozmieszczenie przewodów	wysokie: – wysoko podwieszono – cienki, niewidoczny przewód odgromowy – piętrowy układ przewodów
Ryzyko porażenia (3)	niewielkie: – niskie natężenie prądu	wysokie: – niewielkie odległości pomiędzy przewodami – konstrukcja podpór	nieznaczące, jednak wciąż realne: – długie, podwieszane izolatory – duże odległości pomiędzy przewodami

ostatnia cecha także podwyższa ryzyko kolizji, gdyż do zderzeń dochodzi najczęściej z dala od słupów (w środkowej części przęsła).

Jakie ptaki najczęściej ulegają kolizjom?

Podatność na zderzenia z LEE wśród ptaków nie jest jednakowa i niektóre gatunki cechuje nieproporcjonalnie wysoki stopień śmiertelności (Drewitt & Langston 2008). Budowa aparatu wzroku wpływa na zdolność wykrywania przeszkód (Bevanger 1994, Drewitt & Langston 2008), a wielkość, masa ciała i inne cechy morfologiczne (np. proporcje skrzydeł) przekładają się na szybkość i precyzję reakcji (Brown 1992, Bevanger 1994, Rubolini et al. 2005). Wykazano, że szczególnie narażone na kolizje są następujące grupy ptaków: dropie *Otididae*, żurawie *Gruidae*, bocianowe *Ciconiformes*, pelikany *Pelicanidae*, blaszkodziobe *Anseriformes*, chruściele *Rallidae*, sowy *Strigiformes*, ptaki szponiaste *Accipitriformes*, niektóre gatunki kurowatych *Phasianidae* oraz niektóre siewkowce *Charadrii*, w tym bekasowate *Scolopacidae* (Bevanger 1998, Janss 2000, Haas et al. 2005, Jenkins et al. 2010). Większość ptaków ze wspomnianych wyżej grup posiada najczęściej skrzydła o stosunkowo dużej powierzchni, co przekłada się na ich mniejszą zwrotność. Niektóre badania wskazują również na podwyższone ryzyko kolizji wśród gatunków rozwijających w powietrzu duże prędkości, w szczególności są to gołębie *Columbinae*, niektóre siewkowe *Charadriiformes*, przepiórka *Coturnix coturnix* i sokoły – drzemlik *Falco columbarius* i sokół wędrowny *F. peregrinus* (Rose & Baillie 1989, Alonso & Alonso 1999a, Hunting 2002, Drewitt & Langston 2008). Charakterystyka ta znajduje potwierdzenie w licznych danych empirycznych (np. Bevanger 1998, Bevanger i Brøseth 2004, Stake 2009, Horváth et al. 2011, tab. 3, rys. 2).

Porównanie euroazjatyckich rodzin ptaków pod względem podatności na dwa główne rodzaje oddziaływań wskazuje, że na kolizje narażeni są w mniejszym lub większym stopniu przedstawiciele wszystkich taksonów, podczas gdy porażeniom prądem ulegają tylko niektóre grupy, głównie ptaków o większych rozmiarach ciała (tab. 3). Różnice w podatności na porażenie prądem wynikają też z ekologii i etologii gatunków, stąd np. niskie straty wśród ptaków morskich, a wysokie wśród ptaków zasiedlających środowiska antropogeniczne.

Dropie czy kuraki posiadające duże rozmiary ciała nie są notowane wśród ofiar porażen, gdyż nie korzystają ze słupów lub przewodów jako miejsc przesiadywania. Z kolei bocianowate są uważane za rodzinę szczególnie podatną na obydwa źródła śmiertelności, należy jednak podkreślić, że dotyczy to głównie bociana białego, szczególnie często notowanego wśród ofiar (Garrido & Fernandez-Cruz 2003, Schaub & Pradel 2004, Martin & Schaw 2010, Horváth et al. 2011). Wynika to z wykorzystywania przez ten gatunek środowisk i obiektów pochodzenia antropogenicznego przez znaczną część cyklu rocznego, np. w

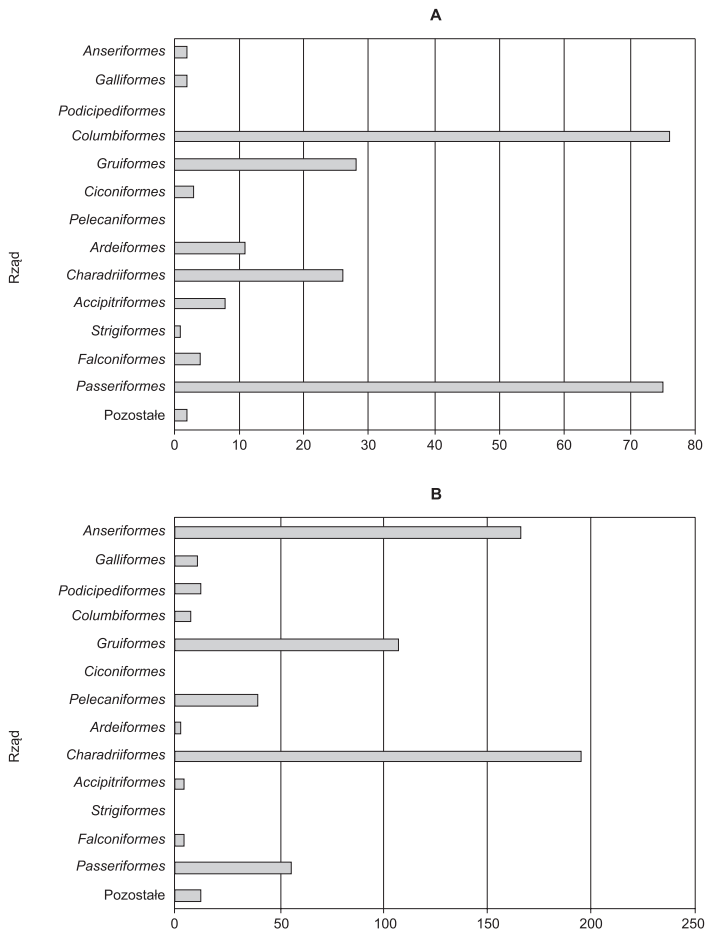
Tabela 3. Podatność wybranych grup taksonomicznych ptaków na śmiertelność powodowaną przez porażenia prądem i kolizje z przewodami linii elektroenergetycznych (wg Haas et al. 2005, zmienione). Grupy uporządkowano według rosnącej podatności na oddziaływania. Listę ograniczono do taksonów występujących w Polsce. Kategorie zagrożenia: 0 – brak stwierdzonych przypadków śmierci lub niskie ich prawdopodobieństwo; I – przypadki notowane, brak zagrożenia dla populacji ptaków; II – liczne przypadki notowane regionalnie lub lokalnie, niemniej bez znaczącego wpływu dla populacji; III – główny czynnik śmiertelności, poszczególne gatunki są zagrożone wyginięciem lokalnie lub na większą skalę

Table 3. Risk of different bird taxa to mortality from electrocution or collisions with powerlines (from Haas et al. 2005, changed). Groups have been arranged according to growing susceptibility. Only taxa occurring in Poland have been presented. Risk categories: 0 – no casualties reported or their low risk; I – casualties reported but no apparent threat to bird populations; II – regionally or locally high casualties, but with no significant impact on the bird population; III – casualties are the major mortality factor, threatening a species with extinction, locally or on a larger scale. (1) – bird taxa, (2) – electrocutions, (3) – collisions with powerlines

Grupa taksonomiczna (1)	Porażenia prądem (2)	Zderzenia z przewodami (3)
alki <i>Alcidae</i>	0	I
burzykowate <i>Procellariidae</i> , głuptaki <i>Sulidae</i>	0	I–II
nury <i>Gavidae</i> , perkozy <i>Podicipedidae</i> , flamingi <i>Phoenicopteridae</i> , kaczkowate <i>Anatidae</i> , stepówki <i>Pteroclididae</i> , kukułki <i>Cuculinae</i> , lelkowate <i>Caprimulgidae</i> , jerzyki <i>Apodidae</i>	0	II
bażanty <i>Phasianinae</i> , chruściele <i>Rallidae</i> , żurawie <i>Gruidae</i>	0	II–III
dropie <i>Otididae</i>	0	III
rybitwy <i>Sternidae</i> , żołąny <i>Meropidae</i>	0–I	II
kormorany <i>Phalacrocoracidae</i> , czaplówate <i>Ardeidae</i> , ibisowate <i>Threskiornithidae</i> , wydrzyki <i>Stercoraridae</i> , mewy <i>Laridae</i> , dudki <i>Upupidae</i> , zimorodkowate <i>Alcedinidae</i> , kraski <i>Coraciidae</i> , papugowate <i>Psittacidae</i> , dzięciołowate <i>Picidae</i> , małe i średniej wielkości wróblowe <i>Passeriformes</i>	I	II
pelicany <i>Pelecanidae</i> , sieweczkwate <i>Charadriidae</i> , bekasowate <i>Scolopacidae</i>	I	II–III
sowy <i>Strigiformes</i>	I–II	II–III
gołębie <i>Columbinae</i>	II	II
szponiaste <i>Accipitriformes</i> , sokołowe <i>Falconiformes</i> , krukowate <i>Corvidae</i>	II–III	I–II
bocianowate <i>Ciconidae</i>	III	III

Hiszpanii 70% kolizji miało miejsce w odległości mniejszej niż 1 km od składowisk odpadów, na których żerowały bociany (Garrido & Fernández-Cruz 2003). W Niemczech spośród 294 ptaków ze znaną przyczyną śmierci aż 226 stanowiły ofiary kolizji z LEE (Riegel & Winkel 1971). Również dane z Polski wskazują, że napowietrzne kolizje z LEE są najważniejszą przyczyną śmiertelności lotnych bocianów białych (Jakubiec 1991). Szacunki rocznej śmiertelności tego gatunku powodowanej przez kolizje z LEE i porażenia w Polsce mówią o 600–650 osobnikach (Kania 1994, Schürenberg et al. 2010). Nie jest jasne, w jakim stopniu wysoka śmiertelność bociana białego generowana przez LEE przyczynia się do postępującego zaniku jego populacji w wielu częściach arealu lęgowego (Profus 2006).

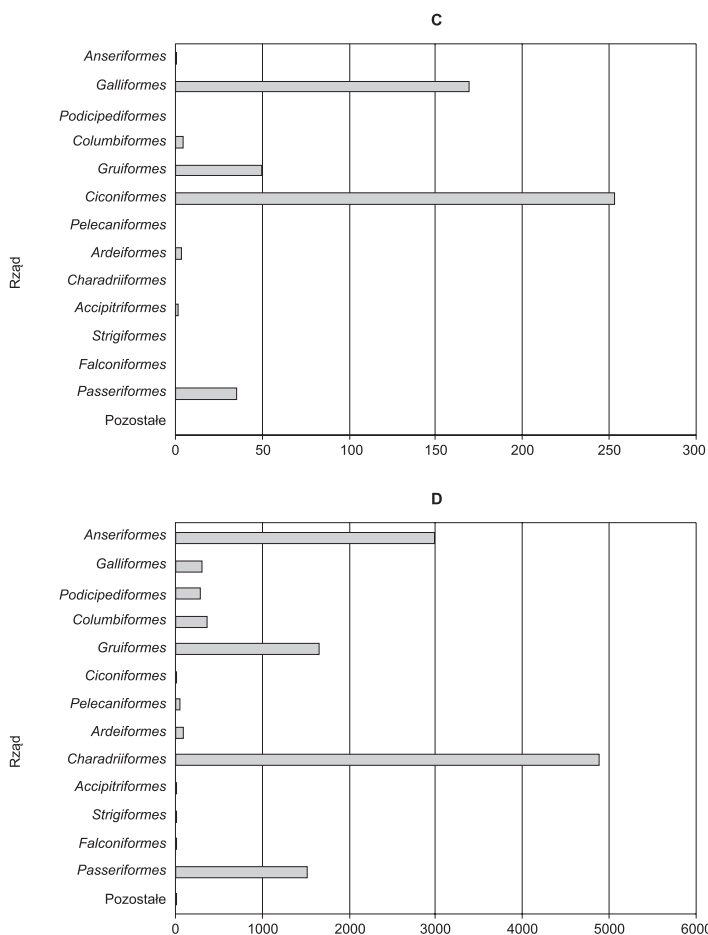
Dane dotyczące śmiertelności ptaków wróblowych *Passeriformes* są niejednoznaczne. Rose & Baillie (1989) na podstawie analizy danych obrączkarskich wykazali niski odsetek



Rys. 2. A, B. Przykładowe wyniki dotyczące liczb ptaków będących ofiarami kolizji z liniami elektroenergetycznymi. A – liczenia na ośmiu badanych odcinkach linii w Hiszpanii (N os.=230, N gat.=48, Alonso & Alonso 1999a), B – liczenia na preriach północnej Dakoty, Stany Zjednoczone (N=633, Faanes 1987) (za Bevanger 1998)

Fig. 2. A, B. Examples of reports of individual powerline casualties from mortality censuses. A – counts from censuses along eight powerlines in Spain (N ind.=230, N sp.=48) (Alonso & Alonso 1999a), B – censuses on prairie habitats in North Dakota, USA (N=633) (Faanes 1987) (after Bevanger 1998)

ptaków z tego rzędu wśród ofiar kolizji. Z kolei Scott et al. (1972), na podstawie cotygodniowych kontroli kilometrowego odcinka linii najwyższych napięć (400 kV) usytuowanego na trasie migracji ptaków (Dungeness, hrabstwo Kent w Wielkiej Brytanii), wykazał w okresie 6 lat badań obecność 1285 martwych ptaków z 75 gatunków, w tym głównie nocnych migrantów (drozdy *Turdus* sp., pokrzewki *Sylvia* sp. i chruściele *Rallidae*). Wyniki z Danii potwierdzają wysoki odsetek (40%) nocnych migrantów z rzędu wróblowych wśród ofiar kolizji z LEE (Andersen-Harild & Bloch 1973). Podobnie w Hiszpanii wróblowe stanowią znaczny odsetek ofiar kolizji z LEE (Alonso & Alonso 1999a, rys. 2). Wysoki udział tej grupy wśród ptaków ulegających kolizjom z LEE może wynikać z dużego udziału (zarówno liczby gatunków, jak i osobników) ptaków wróblowych w obrębie całej gromady.



Rys. 2. C, D. Przykładowe wyniki dotyczące liczby ptaków będących ofiarami kolizji z liniami elektroenergetycznymi. C – liczenia w południowo-zachodniej części Arabii Saudyjskiej (N os.=532, N gat.=21) (Shobrak 2012), D – zestawienie wyników 16 opracowań łącznie (N os.=12223, N gat.=245) (za Bevanger 1998)

Fig. 2. C, D. Examples of reports of individual powerline casualties from mortality censuses. C – censuses in south-western Saudi Arabia (N ind.=532, N sp.=21) (Shobrak 2012), D – summary of results of 16 studies (N ind.=12223, N sp.=245) (after Bevanger 1998)

Wykazywany wysoki odsetek wróblowych ulegających kolizjom jest prawdopodobnie niedoszacowany (Hunting 2002, Drewitt & Langston 2008). Wskazują na to wyniki poszukiwań prowadzonych w środowiskach o wysokiej wykrywalności (widoczności) ciał ptaków. Na przykład Shobrak (2012), prowadząc obserwacje wzdłuż linii wysokiego i średniego napięcia przebiegających przez tereny pustynne pozbawione roślinności lub ze skąpą okrywą (Arabia Saudyjska), wśród ofiar kolizji (N=532) wykazał znaczny odsetek (40%) niewielkiej wielkości gatunków ptaków (przepiórka – 170 os., piecuszek *Phylloscopus trochilus* – 19 os., inne pokrzewkowate *Sylvidae* – 23 os.).

Wpływ zjawiska kolizji na ograniczanie populacji ptaków

Dla większości gatunków śmiertelność związana z kolizjami z LEE stanowi niewielki dodatkowy odsetek ponad naturalną śmiertelność roczną. Niektórzy autorzy wskazują jednak, że kolizje mogą zagrażać przetrwaniu zagrożonych populacji czy nawet niektórych zagrożonych gatunków ptaków (Haas et al. 2005, Shaw 2009, Jenkins et al. 2010, Horváth et al. 2011). Dotyczy to populacji lub gatunków o ograniczonej zdolności do kompensacji strat liczebności, tj. o niewielkiej liczebności lub gatunków zagrożonych w wyniku utraty siedlisk czy innych czynników antropogenicznych (tab. 4). Dane z regionu Overberg (Republika Południowej Afryki) wskazują, że w przypadku żurawia rajskiego *Anthropoides paradisea* i dropiaka biało-skrzydłego *Neotis denhami* odsetek kolizji jest na tyle znaczący, że odbudowanie strat znajduje się prawdopodobnie na granicy lub poniżej wydolności populacji, stanowiąc bezpośrednie zagrożenie dla ich przetrwania (Jenkins et al. 2010). Watson (1982) opisuje wyginięcie lokalnej populacji pardwy górskiej *Lagopus muta* w Szkocji spowodowane kolizjami ptaków z przewodami wyciągów narciarskich. W Norwegii straty powodowane przez kolizje z LEE w krajowych populacjach guszca *Tetrao urogallus*, cietrzewia *T. tetrix* i pardwy mszarnej *Lagopus lagopus* wynoszą odpowiednio 20 000, 26 000 i 50 000 osobników rocznie i, jak się uważa, mogą mieć znaczący efekt demograficzny (Bevanger 1995, Bevanger & Brøseth 2004).

Dane z terenu Polski uzyskane przez Komitet Ochrony Orłów (Anderwald 2009) wskazują, że wszelkiego rodzaju kolizje są najczęstszą przyczyną śmiertelności ptaków szponiastych i sów w kraju, w tym 42% jako skutek kontaktu z LEE (łącznie kolizje i porażenia

Tabela 4. Przykładowe wyniki dotyczące śmiertelności ptaków w wyniku zderzeń z liniami elektroenergetycznymi w różnych rejonach świata

Table 4. Bird mortality due to collisions with powerlines – examples from different parts of the world. (1) – country, (2) – species, (3) – mortality scale, (4) – source

Obszar (1)	Gatunek (2)	Skala śmiertelności (3)	Źródło (4)
RPA, Overberg	<i>Anthropoides paradisea</i> <i>Neotis denhami</i>	12% populacji rocznie	BirdLife Int. 2009
USA, Góry Skaliste	<i>Grus canadensis tabida</i> , <i>Grus americana</i>	30% populacji rocznie 40% znanej śmiertelności osobników młodocianych	Shaw 2009 Lockmann 1988
Europa	<i>Ciconia ciconia</i>	25% osobników młodocianych 6% osobników dorosłych	Schaub & Pradel 2004
Austria	<i>Otis tarda</i>	20% populacji	LIFE 2011
Wielka Brytania	<i>Cygnus olor</i>	25% ofiar ze znaną śmiertelnością	Prinsen et al. 2011
Grecja	<i>Pelecanus crispus</i>	około 3% lokalnej populacji lęgowej	Prinsen et al. 2011

prądem). Najliczniejszymi gatunkami ponoszącymi śmierć w wyniku kontaktu z LEE były myszołów *Buteo buteo*, bielik *Haliaeetus albicilla*, jastrząb *Accipiter gentilis* oraz uszatka *Asio otus*. Kolizje z przewodami elektroenergetycznymi stanowią ok. 40% znanej śmiertelności młodocianych osobników żurawia kanadyjskiego *Grus canadensis tabida* (Drewien 1973) i żurawia krzykliwego *G. americana* w Górach Skalistych (Lewis 1993) oraz ok. 44% znanej śmiertelności młodocianych osobników łabędzia trąbiącego *Cygnus buccinator* w stanie Wyoming (Stany Zjednoczone) (Lockmann 1988). W jednej z austriackich subpopulacji dropia *Otis tarda*, 20% z 45 dorosłych osobników zginęło w ciągu jednego roku (2003) w wyniku kolizji z LEE (LIFE 2011). W przypadku bociana białego oszacowano, że w Europie, w wyniku kontaktu z LEE (kolizje i porażenia prądem łącznie) w okresie 16 lat zginęło ok. 25% młodocianych i 6% dorosłych osobników (Schaub & Pradel 2004).

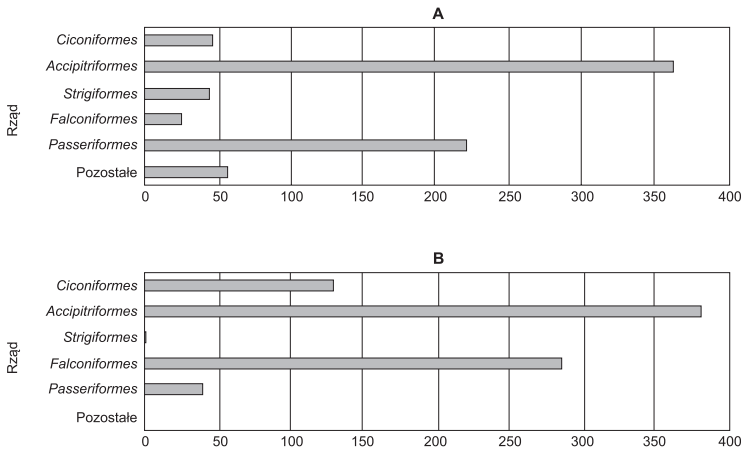
Porażenia prądem

Przyczyny porażenia prądem

Powodem większości przypadków porażenia ptaków prądem elektrycznym jest stosowana konstrukcja podpór (słupów). Do zwarć międzyfazowych dochodzi wskutek niewielkiej odległości dzielącej sąsiednie przewody oraz w przypadkach zastosowania bardzo krótkich izolatorów na słupach. Słupy energetyczne posiadające takie rozwiązania określane są w zachodniej literaturze mianem słupów zabójców (ang. *killer poles*), w związku z powodowaną wysoką śmiertelnością ptaków. Przykładowo, na dwóch stacjach transformatorowych na Mazowszu w ciągu zaledwie jednego dnia zginęło 16 młodych bocianów białych (Kaługa & Tryjanowski 2012), a pod 25 słupami monitorowanymi w latach 2008–2010 ginęło średnio 1,52–2,48 osobnika na słup (Kaługa et al. 2011). Pod jednym ze słupów w okolicy wysypiska śmieci w południowych Niemczech podczas jednej wizyty znaleziono pozostałości 28 ptaków, w tym czterech puchaczy *Bubo bubo* oraz trzech kań (kani czarnej *Milvus migrans* i kani rudej *M. milvus*) (Haas et al. 2005).

Jakie ptaki ulegają porażeniu

Porażenie następuje w sytuacji równoczesnego dotknięcia przez ptaka elementów linii o różnych potencjałach, np. przewodów różnych faz lub jednocześnie przewodu fazowego i elementu uziemionego (Bevanger 1998). Zjawisko to jest zatem funkcją odległości dzielącej przewody lub urządzenia uziemiające, a także rozmiarów ptaka. Ryzyko porażenia rośnie wraz z rozmiarami ptaka, poczynając od gatunków wielkości kawki *Corvus monedula*. Biorąc pod uwagę liczebność i skład gatunkowy znajdujących ofiar, ptaki szczególnie narażone na ten rodzaj oddziaływania linii najczęściej należą do rządów *Ciconiformes*, *Accipitriiformes*, *Falconiformes*, *Columbiformes*, *Strigiformes* i *Passeriformes* (głównie krukowate *Corvidae*) (tab. 3, rys. 3) (Bevanger 1998, Garrido & Fernandez-Cruz 2003, Schaub & Pradel 2004, Manville 2005, Tryjanowski et al. 2006, Tinto et al. 2010, Kaługa et al. 2011, Horváth et al. 2011). Oprócz rozmiarów ciała istotnym czynnikiem zwiększającym ryzyko porażenia są zachowania ptaków z tych grup, tj. zwyczaj częstego wykorzystywania infrastruktury elektroenergetycznej jako czatowni, miejsc gniazdowania, odpoczynku itp. Wśród ptaków drapieżnych porażenia uważane są za jedną z głównych nienaturalnych przyczyn śmiertelności (Bevanger 1998, Real et al. 2001, Gonzalez et al. 2007, Lehman et al. 2007, Guil et al. 2011). Szponiastymi najczęściej ginącymi w wyniku porażenia w Europie są myszołów, kania czarna i ruda oraz pustułka *F. tinnunculus* (Lehman 2007). W Stanach Zjednoczonych częstymi ofiarami porażenia prądem są orzeł przedni *Aquila chrysaetos* i bielik amerykański *H. leucocephalus* oraz myszołów rdzawosterny *B. jamaicensis* (Harness & Wilson 2001, Manville 2005), a w Afryce sępy (Ledger & Annegarn 1981, Ledger 1984, Krüger 1999).



Rys. 3. Liczba ptasich ofiar porażenia prądem elektrycznym według grup taksonomicznych w południowo-zachodniej Hiszpanii (N=760, Janss & Ferrer 1999) (A) oraz na Węgrzech (N=837, Horvath 2011) (B)

Fig. 3. Number of individual powerline electrocution mortalities in different taxa in south-western Spain (N=760) (Janss & Ferrer 1999) (A) and Hungary (N=837) (Horvath 2011) (B)

Obecność ptaków wróblowych wśród ofiar porażenia dotyczy w szczególności krukowatych, jednak notowane są także gatunki o małych rozmiarach ciała (Kroodsma & Van Dyke 1985, Negro & Ferrer 1995). Wynika to z dużego zróżnicowania stosowanych obecnie instalacji elektrycznych (np. na liniach średnich napięć odległość pomiędzy przewodem pod napięciem a uziemioną konstrukcją słupa wynosi zaledwie 25–30 cm), wykorzystywania niebezpiecznych dla ptaków rozwiązań ochrony przeciwprzepięciowej, tzw. iskierników, a także z faktu, że porażenie może nastąpić za pośrednictwem ciała innego osobnika. Jeśli na przewodach wyląduje stado drobnych ptaków, prąd może przepłynąć przez kilka stykających się osobników (Bevanger & Thingstad 1988). W Stanach Zjednoczonych i w Afryce do zjawiska dochodzi najczęściej w otwartym krajobrazie, gdzie brak jest naturalnych obiektów, mogących służyć ptakom za czatownie lub występują one w rozproszeniu (Harlow & Bloom 1989, Manville 2005). Mimo że bielik amerykański należy również do bardzo dużych gatunków, to jednak dużo rzadziej pada ofiarą porażenia, gdyż występuje na terenach zalesionych, gdzie o dogodną czatownię nietrudno (Stalmaster 1987).

Wielkość strat ptasich wskutek porażenia prądem

Punktowa lokalizacja porażenia prądem (najczęściej na słupach) pozwala względnie łatwo i z większą dokładnością określać śmiertelność ptaków w porównaniu z badaniami skutków kolizji z przewodami. W różnych częściach świata zgromadzono obfite dane charakteryzujące skalę zjawiska, skład gatunkowy czy wiekowy ofiar porażenia (tab. 5). Wynika z nich, że podobnie jak kolizje, porażenia mogą mieć silny limitujący wpływ na liczebność niektórych populacji ptasich (Haas et al. 2005). Mogą też zaburzyć strukturę socjalną czy wiekową, np. spośród 290 bocianów białych znalezionych w okresie 2008–2010 pod słupami na Mazowszu, aż 282 stanowiły ptaki młode (Kaługa et al. 2011). Skutki wybiórczej redukcji względem wieku dla stabilności populacji bociana pozostają nieznanne. W Republice Południowej Afryki sęp przylądkowy *Gyps coprotheres* osiąga wysoką śmiertelność (np. 80 os./rok w jednej z prowincji) i uznawany jest za gatunek zagrożony wyginięciem (Ledger 1980, Ledger & Annegarn 1981, Krüger 1999). Na podstawie analizy stopnia śmiertelności w wyniku porażenia prądem i zdolności reprodukcyjnych gatunku określono, że w ciągu

Tabela 5. Przykładowe wyniki śmiertelności ptaków w wyniku porażenia w kontakcie z przewodami elektroenergetycznymi w różnych rejonach świata

Table 5. Bird mortality from powerline electrocution – examples from different parts of the world. (1) – country, (2) – species, (3) – mortality scale, (4) – source

Obszar (1)	Gatunek (2)	Skala zjawiska (% wykrytej śmiertelności) (3)	Źródło (4)
Włochy	<i>Bubo bubo</i>	17% wykrytej śmiertelności osobników młodocianych	Sergio et al. 2004
Hiszpania	<i>Aquila fasciata</i>	38%	Real et al. 1996, Real & Mañosa 1997
Francja	<i>Bubo bubo</i>	55%	Bayle 1999
Węgry	<i>Coracias garrulus</i>	0,5–1,5% rocznej śmiertelności w całej populacji krajowej	Prinsen et al. 2011
Bułgaria	<i>Ciconia ciconia</i>	25%	Prinsen et al. 2011
Szwajcaria	<i>Ciconia ciconia</i>	ponad 40%	Prinsen et al. 2011

20–35 lat dojdzie do zaniku niektórych populacji, jeżeli nie zostaną podjęte kroki zapobiegawcze (Boshoff et al. 2011). Porażenia są też w dużym stopniu odpowiedzialne za zmniejszenie się populacji ścierwnika *Neophron percnopterus* w Sudanie (Nikolaus 1984, Angelov et al. 2012) i sępa płowego *G. fulvus* w Izraelu (Lesham 1985). W okresie pięciu lat (2004–2009), w południowo-wschodniej Hiszpanii (prowincje Ciudad Real i Albacete), skontrolowano 6304 słupy energetyczne na liniach 12–66 kV stwierdzając łącznie 952 ofiar porażenia prądem – ptaków szponiastych i sów. Najliczniej reprezentowanymi gatunkami były myszołów (367 os.), puchacz (189) i gadożer *Circaetus gallicus* (68), a także orzeł przedni, orzełek południowy *A. fasciata* i kania czarna (odpowiednio 64, 54 i 48 os.) (Guil et al. 2011).

Obok często cytowanych wyników z Zachodniej Europy czy Stanów Zjednoczonych, w ostatnich latach zebrano także interesujące (i niepokojące) dane z innych regionów Europy i Azji. W obwodzie saratowskim w południowo-zachodniej Rosji, pod słupami linii 10 kV o długości 25 km, w październiku 2011 roku podczas dwudniowego obchodu stwierdzono 26 martwych orłów stepowych *A. nipalensis* i 5 kurhanników *B. rufinus*, a rok później 31 orłów stepowych i 15 kurhanników (Antochnikov i Saltykov 2012). W rejonie justyńskim w Republice Kałmucji, wzdłuż 30 km linii 10 kV, stwierdzono 266 martwych ptaków (Saltykov 2011). Z kolei na obszarze jesiennie-zimowej koncentracji ptaków w Kazachstanie, na od-cinku 11 km, odkryto pozostałości kilkuset ptaków. W składzie ofiar znalazło się 200 pustułek, 48 orłów stepowych, dwa orły cesarskie *A. heliaca*, jeden bielik oraz jeden sęp kasztanowaty *Aegypius monachus* (Haas et al. 2005). W innych badaniach w środkowym Kazachstanie, wzdłuż trzech LEE średniego napięcia (10 – 35 kV) o długości 15 km, zagęszczenie ofiar, zależnie od pory roku, oscyloowało między 0,1 a 7,6 os./km/miesiąc. Wśród ofiar porażenia prądem najczęściej pojawiały się małe sokoły (pustułka i pustułeczka *F. naumanni*) oraz kurhannik (Lasch et al. 2010). Dane z terenu Rosji potwierdzają także duży odsetek krukowatych wśród ofiar porażenia prądem. W obwodzie samarskim wrona siwa *C. cornix* i myszołów stanowiły po 19% ofiar, sroka *Pica pica* 18%, a kawka 13% (N=80) (Karyakin et al. 2008). Inny przykład stanowią dane z obwodu niżnonowogrodzkiego (tab. 6).

Wpływ linii elektroenergetycznych na siedliska

Poza bezpośrednim oddziaływaniem przewodów napowietrznych i ich infrastruktury na ptaki (kolizje i porażenia), LEE generują również oddziaływanie pośrednie wpływając w róż-

Tabela 6. Liczebność i udział procentowy głównych ofiar porażenia prądem w obwodzie niżnonowogrodzkim w Rosji w latach 2001–2010 (Matsyna & Zamazkin 2010)

Table 6. Numbers and percentage of main victims of electrocution in Niznonowogrodski district in Russia in 2001–2010 (after Matsyna & Zamazkin 2010). (1) – species, (2) – number of victims, (3) – others, (4) – total

Gatunek (1)	Liczba ofiar (2)	%
<i>Corvus frugilegus</i>	725	37
<i>Corvus monedula</i>	340	17
<i>Pica pica</i>	164	8
<i>Corvus cornix</i>	145	7
<i>Buteo buteo</i>	138	7
<i>Turdus pilaris</i>	135	7
<i>Corvus corax</i>	97	5
<i>Falco tinnunculus</i>	60	3
Pozostałe (3)	181	9
Razem (4)	1985	100

nym stopniu na środowisko na etapie ich powstawania i eksploatacji. Budowa nowej linii zawsze związana jest z przekształceniem lub likwidacją różnej wielkości siedlisk przyrodniczych stanowiących potencjalne miejsca żerowania lub gniazdowania ptaków. Posadowienie podpór prowadzi do efektywnego ubytku terenów, których wielkość zależy od konstrukcji słupa (kratowy czy rurowy) i mocy linii. Przy liniach niskich napięć podpory zajmują mniejszą powierzchnię gruntu, są jednak gęściej rozmieszczone niż podpory linii o wyższych napięciach.

Stopień oddziaływania linii zależy również od jej przebiegu. Szczególną ingerencję stanowi prowadzenie linii poprzez tereny zadrzewione. Wiąże się to z wycinką różnej szerokości pasa drzew (do 70 m w przypadku linii najwyższych napięć) i niekorzystnym zjawiskiem fragmentacji obszarów leśnych powodującym rozprzestrzenianie inwazyjnych gatunków roślin i większe ryzyko pożarów (Fiedler 1993, Bevanger 1998, Broadbent et al. 2008). Z drugiej strony zwiększa różnorodność gatunkową ptaków poprzez stworzenie strefy ekotopowej (Øygard 2012).

Wpływ ptaków na linie

Niezależnie od opisywanych dotąd skutków istnienia LEE, negatywnych w stosunku do ptaków, znane są także oddziaływania odwrotne. Ptaki mogą wywoływać awarie sieci, przerwy w zasilaniu w energię, zmuszać do podejmowania działań naprawczych i zapobiegawczych, co łącznie powoduje rozległe i wymierne skutki, w tym ekonomiczne.

Jednym z problematycznych zagadnień jest zwyczaj gniazdowania na słupach sieci elektroenergetycznych, udokumentowany u takich gatunków jak bocian biały, kruk, rybołów, pustułka, kobuz *F. subbuteo* (Bednorz 2000, Tryjanowski 2001, Tryjanowski et al. 2006, Bai et al. 2009). Obecność gniazd, zwłaszcza dużych i licznych, jak w przypadku gniazd bocianich, może zagrażać normalnej eksploatacji i utrudniać konserwację infrastruktury LEE (Kafuga & Zawodniak 2012, Kronenberg et al. 2013). Notowano przypadki zapalenia gniazd przez wyładowania elektryczne, co stwarza szczególne zagrożenie w przypadku gniazd umieszczonych na drewnianych słupach (Chrzan et al. 2008). Gniazda zanieczyszczone odchodami mogą, zwłaszcza po zamoczeniu, powodować tzw. przeskok zabrudzeniowe (Kaidanov & Munteanu 1996, Chrzan et al. 2008) lub też odwrotnie – trudności w

przepływie prądu wskutek izolacyjnych właściwości konstrukcji gniazdowej. Przeskoki zabrudzeniowe mogą też być wywoływane przez ptasie fekalia, które świeże lub po zmożeniu przez deszcz mają znaczne przewodnictwo. Kałomocz większych gatunków ptaków przesiadujących na poprzecznikach ponad izolatorami może doprowadzić do przeskoków wywołując zwarcie (Bevanger 1998, Infante & Peris 2003, Chrzan et al. 2008). Niektóre gatunki, np. papugi *Psittaciformes* lub wrony, mogą aktywnie uszkadzać izolatory polimerowe montowane na słupach wsporczych, np. w Australii, na nowo wybudowanej linii, znaleziono 160 uszkodzonych izolatorów silikonowych (Chrzan et al. 2008). Awarie powodowane przez ptaki w obrębie sieci średniego napięcia trakcji kolejowej mogą prowadzić do zakłóceń w komunikacji, co bezpośrednio przekłada się na straty ekonomiczne (Haas et al. 2005). Znane są także doniesienia dotyczące pożarów lasów zainicjowanych przez porażenie prądem ptaków. Do zjawiska dochodzi najczęściej w rejonie śródziemnomorskim, nierzadko również w wyższych szerokościach geograficznych, a nawet na obszarach arktycznych podczas suchego lata (Haas et al. 2005, Tintó et al. 2005).

Pozytywne oddziaływanie linii

Wśród przeważająco negatywnych oddziaływań, infrastruktura linii elektroenergetycznych wpływa niekiedy korzystnie na populacje ptaków. Słupy energetyczne służą niektórym gatunkom za czatownie, miejsca śpiewu samców oraz miejsca gniazdowania. Tryjanowski et al. (2013) wykazali pozytywny wpływ słupów i linii najwyższych napięć na różnorodność gatunkową ptaków w krajobrazie rolniczym. Zarówno liczba gatunków, jak i obserwowanych osobników była istotnie większa na polach pod słupami i liniami elektroenergetycznymi niż na otwartych polach pozbawionych linii energetycznych. Zjawisko to było spowodowane obecnością krzewów rosnących pod słupami.

Pole elektromagnetyczne

Wyniki badań dotyczących oddziaływania PEM na ptaki nie są jednoznaczne (Ferne et al. 2000, Balmori 2005, Ferne & Reynolds 2005). Ekspozycja na PEM może w pewnych warunkach zmieniać zachowania i fizjologię, odbijając się negatywnie na reprodukcji i rozwoju ptaków. Badania wpływu PEM na biologię rozrodu pustułki amerykańskiej *F. sparverius* w warunkach hodowlanych wykazały, że osobniki poddane ekspozycji na PEM składały jaja o cieńszej skorupce, większe (większe żółtko i zawartość białka), a ich embriony charakteryzowały się większymi rozmiarami, niemniej wielkość piskląt nie odbiegała od normy. Odsetek piskląt, które opuściły gniazdo był u tych ptaków wyższy w porównaniu z sukcesem ptaków kontrolnych, jednak niższy był odsetek wyklutych jaj (Ferne et al. 2000). Wśród par rybołówów gniazdujących na słupach najwyższych napięć w Niemczech notowano istotnie wyższy sukces lęgowy (1,65 odchowanych młodych/parę) w stosunku do par gniazdujących na drzewach (1,32 odchowanych młodych/parę). Fakt ten może być jednak związany z czynnikami ekologicznymi związanymi z lokalizacją terytorium i gniazda. Niższy sukces reprodukcyjny obserwowano u osobników nadobniczki drzewnej *Tachycineta bicolor* poddanych wpływowi PEM bezpośrednio pod liniami 765 i 69 kV. Z kolei u błękitnika rudogardłego *Sialia sialis* i strzyżyka śpiewnego *Troglodytes aedon* nie wykazano zmian sukcesu reprodukcyjnego pod wpływem PEM (Doherty & Grubb 1996).

Podsumowanie

Wzajemne oddziaływania ptaków i napowietrznych LEE są zjawiskiem wielostronnym, o skali znaczącej zarówno z punktu widzenia populacji ptasich, jak i gospodarki człowieka. W szczególności, linie są ważnym źródłem dodatkowej, poza naturalną, śmiertelności ptaków.

Niektóre grupy systematyczne ptaków są bardziej podatne na straty, a w skrajnych przypadkach skala śmiertelności zagraża istnieniu lokalnych populacji. Na kolizje z przewodami narażeni są w mniejszym lub większym stopniu przedstawiciele wszystkich taksonów, podczas gdy porażeniom prądem ulegają głównie gatunki o większych rozmiarach ciała i skłonnościach do wykorzystywania sieci trakcji elektroenergetycznej jako czatowni, miejsc odpoczynku itp. Skala śmiertelności ptaków zależy też od lokalizacji LEE, jej rodzaju oraz zastosowanych rozwiązań technicznych.

Oddziaływania ptaków i LEE są ważne także z perspektywy krajowej, choć liczba polskich prac podejmujących to zagadnienie pozostaje niewielka utrudniając szersze spojrzenie na ten problem. Według ISI w latach 2000–2013 opublikowano zaledwie pięć prac z polskimi afiliacjami autorów na temat wpływu energetyki na populacje ptaków (Wuczyński & Tryjanowski 2013). Próbę podsumowania całości omawianej problematyki od strony technicznej i praktycznej mają stanowić opracowywane obecnie wytyczne GDOŚ (Maniakowski et al. 2013), z których jednak także wynika niedostatek danych krajowych. Tymczasem, ze względu na spodziewane inwestycje i wymogi prawne, można oczekiwać wzrostu zapotrzebowania na dane źródłowe i propozycje rozwiązań praktycznych. Polska energetyka eksploatuje około 45 tys. km linii napowietrznych wysokich napięć, 230 tys. km linii średnich napięć, 290 tys. km linii napowietrznych napięć niskich wraz z przyłączami (PTPiREE 2010, GDOŚ 2011) oraz kilka milionów różnych typów słupów (GDOŚ 2011). Niestety stan techniczny polskich sieci elektroenergetycznych jest uznawany za bardzo zły, np. 30% sieci dystrybucyjnej (Chojnacki 2009) oraz 70% elektrowni kwalifikuje się do wymiany (Cybruch 2012). Oznacza to, że Polsce grożą potencjalnie poważne awarie elementów systemu energetycznego, co może wpłynąć na realne zagrożenie dla bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Poprawa tej sytuacji wiąże się z koniecznością wymiany lub poważnych modernizacji w krajowej infrastrukturze elektroenergetycznej i działania takie z pewnością będą stopniowo realizowane. Stwarza to okazję dla dokładniejszego określenia skali i charakteru oddziaływań ptaków i LEE w Polsce, a także wdrożenia nowoczesnych rozwiązań minimalizujących oddziaływania negatywne. Mamy nadzieję, że zaprezentowany w niniejszej pracy zarys problematyki wraz z przeglądem najnowszej światowej literatury okaże się w tych działaniach pomocny.

Serdecznie dziękujemy Michałowi Skakujowi za liczne, konstruktywne uwagi merytoryczne oraz cenne poprawki stylistyczne całego tekstu.

Summary: Birds and overhead powerlines. Types of interactions, their reasons and effects for avian populations. Interactions between birds and above ground powerlines are a complex phenomenon, important for both avian populations and human economy. This paper reviews studies analysing powerline effects on bird mortality, its scale and importance. Overhead powerlines affect mortality of most birds species. However, mortality risks vary considerably among taxonomic groups and populations. In some cases powerlines may even cause the extinction of local populations. Collisions with powerlines have been recorded among most avian taxa, though their frequency is higher in species with low flight maneuverability and limited ability to see powerlines. Electrocutation generally affects larger species. The most widely affected group are Anseriformes, Gruiformes, Ciconiiformes, Charadriiformes, Accipitriformes, Falconiformes and Passeriformes. Mortality rate is associated with the location of powerlines and the type of network. Sometimes birds benefit from the presence of powerlines e.g. by using them for nesting or as vantage points. In contrast, the presence of birds may have an adverse effect on powerlines: their nests and faeces may lead to electrical short-circuits and hinder renovations works generating extra costs for the management of powerlines.

Literatura

- Alerstam T. 1990. Bird Migration. Cambridge University Press. Cambridge.
- Alonso J.A., Alonso J.C. 1999a. Collision of birds with overhead transmission lines in Spain. In: Ferrer M., G.F.E. Janss (eds). Birds and Power Lines. Collision, Electrocutation and Breeding. Quercus, Madrid.
- Alonso J.A., Alonso J.C. 1999b. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. In: Ferrer M., Janss G.F.E. (eds). Birds and Power Lines: Collision, Electrocutation and Breeding, ss. 113–124. Quercus, Madrid.
- Andersen-Harild P., Bloch D. 1973. Birds killed by overhead wires on some locations in Denmark. Dan. Ornithol. Foren. Tidsskr. 67: 15–23.
- Anderwald D. 2009. Przyczyny śmiertelności ptaków szponiastych i sów na podstawie analizy danych „Kartoteki ptaków martwych i osłabionych” Komitetu Ochrony Orłów. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej 3: 125–151.
- Angelov I., Hashim I., Oppel S. 2012. Persistent electrocution mortality of Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* over 28 years in East Africa. Bird Conserv. Int. 23: 1–6.
- Antochnikov A., Saltykov A. 2012. W Aleksandrowo-Gajskom rajone Saratowskiej oblasti na LEP-ubijcach gibnut stepnyje orly i kurganniki. Sojuz ochrany ptic Rossii. <http://www.rbcu.ru/programs/2192/24197/>
- Bai M., Schmidt D., Gottschalk E., Mühlenberg M. 2009. Distribution pattern of an expanding Osprey (*Pandion haliaetus*) population in a changing environment. J. Orn. 150: 255–263.
- Balmori A. 2005. Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). Electrom. Biol. Med. 24: 109–119.
- Bayle P. 1999. Preventing birds of prey problems at transmission lines in western Europe. J. Raptor Res. 33: 43–48.
- Bednorz J. 2000. Ravens *Corvus corax* LINNAEUS, 1758, nesting on electricity pylons in the Wielkopolska region. Acta zool. cracov. 43: 177–184.
- Bevanger K. 1994. Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. Ibis 136: 412–425.
- Bevanger K. 1995. Estimates and population consequences of Tetraonid mortality caused by collisions with high tension power lines in Norway. J. Appl. Ecol. 32: 745–753.
- Bevanger K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. Biol. Conserv. 86: 67–76.
- Bevanger K., Brøseth H., 2004. Impact of power lines on bird mortality in a subalpine area. Anim. Biodivers. Conserv. 27: 67–77.
- Bevanger K., Thingstad P.G. 1988. The relationship birds-constructions for transmission of electric energy. A survey of present knowledge. Økoforsk Utredning 1: 1–133.
- BirdLife International 2009. Species fact sheet. <http://www.birdlife.org/datazone/speciesfactsheet.php?id=2792>
- Boshoff A.F., Minnie J.C., Tambling C.J., Michael M.D. 2011. The impact of power line-related mortality on the Cape Vulture *Gyps coprotheres* in a part of its range, with an emphasis on electrocution. Bird Conserv. Int. 21: 311–327.
- Bowmaker J.K., Heath L.A., Wilkie S.E., Hunt D.M. 1997. Visual pigments and oil droplets from six classes of photoreceptors in the retinas of birds. Vision Research 37: 2183–2194.
- Broadbent E.N., Asner G.P., Keller M., Knapp D.E., Oliveira P.J., Silva J.N. 2008. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. Biol. Conserv. 141: 1745–1757.
- Brown W.M. 1992. Avian collisions with utility structures: biological perspectives, ss: 1–13. In: Proc. of the international workshop on avian interactions with utility structures. Miami, USA: APLIC/EPRI.
- Cempulik P., Ostański M. 1995. Próby praktycznej ochrony ptaków przed “odrutowaniem krajobrazu”. Chrońmy Przyr. Ojcz. 5: 103–108.
- Chojnacki I. 2009. Stan techniczny polskiej elektroenergetyki jest fatalny. http://forsal.pl/artykuly/36-1755,stan_techiczny_polskiej_elektroenergetyki_jest_fatalny.html

- Chrzan K.L., Wuczyński A., Jakubiec Z. 2008. Problemy i zagrożenia wynikające z wzajemnego oddziaływania ptaków i napowietrznych linii elektroenergetycznych. *Wiadomości Elektrotechniczne* 1: 24–27.
- Cybruch S. 2012. Polska energetyka na tle Europy – stan dzisiejszy i przyszłość. http://www.wiadomosci24.pl/artukul/polska_energetyka_na_tle_europy_8211_stan_dzisiejszy_i_przyszlosc_2231-85.html
- Doherty Jr.P.F., Grubb Jr.T.C. 1996. Effects of high-voltage power lines on birds breeding within the power lines' electromagnetic fields. *Sialia* 18: 129–134.
- Dokter A.M., Baptist M.J., Ens B.J., Krijgsveld K.L., van Loon E.E. 2013. Bird Radar Validation in the Field by Time-Referencing Line-Transect Surveys. *PLoS One* 8: e74129.
- Dokter A. M., Liechti F., Stark H., Delobbe L., Tabary P., Holleman I. 2011. Bird migration flight altitudes studied by a network of operational weather radars. *Journal of the Royal Society Interface* 8 (54): 30–43.
- Drewien R.C. 1973. Ecology of Rocky Mountain Greater Sandhill Cranes. Ph.D. dissertation. University of Idaho, Moscow.
- Drewitt A.L., Langston R.H.W. 2008. Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Ann. Ny. Acad. Sci.* 1134: 233–266.
- Elkins N. 1983. *Weather and Bird Behaviour*. T&AD Poyser, Calton.
- Erickson W.P., Johnson G.D., Strickland M.D., Joung Jr. D.P., Sernka K.J., Good R.E. 2001. Avian collisions with wind turbines: A summary of existing studies and comparisons of other sources of avian collision mortality in the United States. NWCC, Washington.
- Everaert J., Stienen E.W.M. 2006. Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium): significant effect on breeding tern colony due to collisions. *Biodiv. Conserv.* DOI 10.1007/s10531-006-9082-1.
- Exo K.M., Hüppop O., Garthe S. 2003. Birds and offshore wind farms: a hot topic in marine ecology. *Wader Study Group Bull.* 100: 50–58.
- Faanes C.A. 1987. Bird behavior and mortality in relation to power lines in prairie habitats. *Fish and Wildlife Technical Report 7*. United States Department of the Interior, Jamestown, North Dakota, USA.
- Fernie K.J., Bortolotti G.R., Smits J.E., Wilson J., Drouillard K.G., Bird D.M. 2000. In egg composition of American Kestrels to dietary polychlorinated biphenyls. *J. Toxicol. Environ. Health A* 60: 291–303.
- Fernie K.J., Reynolds S.J. 2005. The effects of electromagnetic fields from power lines on avian productive biology and physiology: a review. *J. Toxicol. Environ. Health A* 8: 127–140.
- Fiedler G. 1993. Verluste an Freileitungen durch Stromschlag und Anflug. – Tagungsband Internationale Weißstorch- und Schwarzstorch-Tagung, Schriftenreihe für Umwelt- und Naturschutz im Kreis Minden-Lübbecke 2: 45–46.
- Garrido J.F., Fernandez-Cruz M. 2003. Effects of power lines on a White Stork *Ciconia ciconia* population in central Spain. *Ardeola* 50: 191–200.
- GDOŚ 2011. Informacja na temat wdrażania rekomendacji 110 (2004) dotyczącej minimalizacji negatywnego oddziaływania linii energetycznych na ptaki. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Gonzalez L.M., Margalida A., Mañosa S., Sánchez R., Oria J., et al. 2007. Causes and spatio-temporal variations of non-natural mortality in the Vulnerable Spanish imperial eagle *Aquila adalberti* during a recovery period. *Oryx* 41: 495–502.
- Guil F., Fernández-Olalla M., Moreno-Opo R., Mosqueda I., Gómez M.E., Aranda A., Arredondo A., Guzmán J., Oria J., González L.M., Margalida, A. 2011. Minimising mortality in endangered raptors due to power lines: the importance of spatial aggregation to optimize the application of mitigation measures. *PLoS One* 6: e28212.
- Haas D., Nipkow M., Fiedler G., Schneider R., Haas W., Schürenberg B. 2005. Protecting birds on powerlines: a practical guide on the risks to birds from electricity transmission facilities and how to minimise any such adverse effects. On behalf of NABU – German Society for Nature Conservation, Registered Charity and BirdLife Partner Germany.

- Harlow D.L., Bloom P.H. 1989. Buteos and the golden eagle. In: Pendleton B.G. (ed.). Proc. of the Western Raptor Management Symposium and Workshop. National Wildlife Federation Scientific and Technical Series No. 12, ss. 102–110. Washington, DC, USA.
- Harness R.E., Wilson K.R., 2001. Utility structures associated with raptor electrocutions in rural areas. *Wildlife Soc. Bull.* 29: 612–623.
- Horváth M., Nagy K., Demeter I., Kovács A., Bagyura J., Tóth P., Solt S., Halmos G. 2011. Birds and power lines in Hungary: Mitigation planning, monitoring and research. Proc. Power Lines and Bird Mortality in Europe, 13 April, 2011, Budapest, Hungary.
- Hunt D.M., Carvalho L.S., Cowing J.A., Davies W.L. 2009. Evolution and spectraltuning of visual pigments in birds and mammals. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B* 364: 2941–2955.
- Hunting K. 2002. A roadmap for PIER research on avian collisions with power lines in California. Technical report P500–02–071F. California Energy Commission, Public Interest Energy Research (PIER) Program, Sacramento.
- Infante O., Peris S. 2003. Bird nesting on electric power supports in northwestern Spain. *Ecol. Engin.* 20: 321–326.
- Jakubiec Z. 1991. Causes of breeding losses and of adult mortality in White Stork *Ciconia ciconia* (L.) in Poland. W: Z. Jakubiec (red.). Population of the White Stork *Ciconia ciconia* (L.) in Poland. Part II. *Studia Naturae* 37.
- Janss G.F. 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biol. Conserv.* 95: 353–359.
- Janss G.F., Ferrer M. 1999. Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. *Wildlife Soc. Bull.* 27: 263–273.
- Jenkins A. R., Smallie J. J., Diamond M. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *BirdLife International* 2010. *Bird Conserv. Int.* 20: 263–278.
- Kaidanov F., Munteanu R. 1996. High rate of failures on one HV overhead transmission line caused by birds. In: *Electrical and Electronics Engineers in Israel, Nineteenth Convention*: 483–486. IEEE.
- Kaługa I., Sparks T. H., Tryjanowski P. 2011. Reducing death by electrocution of the white stork *Ciconia ciconia*. *Conserv. Lett.* 4: 483–487.
- Kaługa I., Tryjanowski P. 2012. Ochrona bocianów na urządzeniach energetycznych. *Energia elektryczna, czerwiec*: 22–24.
- Kaługa I., Zawodniak J.J. 2012. Gniazda bociana białego, a linie elektroenergetyczne niskiego napięcia. W: *V Konferencja Naukowo-Techniczna Elektroenergetyczne Linie Napowietrzne* 11: 1–10.
- Kania W. 1994. Zagrożenia ptaków porażeniami prądem i zderzeniami z przewodami napowietrznymi w świetle wyników obrączkowania. *Stacja Ornitologiczna Instytutu Ekologii PAN, Gdańsk*.
- Karyakin I.V., Levashkin A.P., Glybina M.A., Piterova E.H. 2008. Use of GIS techniques in estimating the level of birds of prey electrocution on 6-10 kV power lines in Kinel region of Samara district. *Ochrona piernatych chiszczników* 14: 50–58.
- Koops F.B.J. 1994. Collision victims of high-tension lines in The Netherlands and effects of marking. First technical sessions on power lines and the environment. *Red Eléctrica de España, Madrid*.
- Kronenberg J., Bocheński M., Dolata P. T., Jerzak L., Profus P., Tobółka M., Tryjanowski P., Wuczyński A., Żołnierowicz K.M. 2013. Znaczenie bociana białego *Ciconia ciconia* dla społeczeństwa: analiza z perspektywy koncepcji usług ekosystemów. *Chrońmy Przyr. Ojcz.* 69: 3–27.
- Kroodsma R.L., van Dyke J.W. 1985. Technical and environmental aspects of electric power transmission. *Oak Ridge National Laboratory Environmental Science Division, Publication No. 2067*: 1–85.
- Krüger R. 1999. Towards solving raptor electrocutions on Eskom distribution structures in South Africa. *Mini-Thesis. University of the Orange Free State, Bloemfontein, South Africa*.
- Larsen J.K., Clausen P. 2002. Potential wind park impacts on Whooper Swans in winter: the risk of collision. *Waterbirds* 25: 327–330.
- Lasch U., Zerbe S., Lenk M. 2010. Electrocution of raptors at power lines in Central Kazakhstan. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 9: 95–100.
- Ledger J.A. 1980. Plea to save Africa's birds from electrocution – focus on ESCOM research committee's research. *Megawatt* 63: 11–13.

- Ledger J.A. 1984. Engineering solutions to the problem of vulture electrocutions on electricity towers. *Certified Engineer* 57: 92–95.
- Ledger J.A., Annegarn H.J. 1981. Electrocution hazards to the cape vulture *Gyps coprotheres* in South Africa. *Biol. Conserv.* 20, 15–24.
- Lehman R.N., Kennedy P.L., Savidge J.A. 2007. The state of the art in raptor electrocution research: a global review. *Biol. Conserv.* 136: 159–174.
- Lesham Y. 1985. Griffon vultures in Israel – electrocution and other reasons for a declining population. *Vulture News* 13: 14–20.
- Lewis J.C. 1993. The U.S. Fish and Wildlife Service and bird-power line interactions. In: J.W. Huckabee. *Proc. Avian interactions with utility structures. International workshop, September 13–16, 1992. Miami, FL. Electric Power Research Institute, Project 3041, EPRI TR-103268; 2–1–2.6.*
- LIFE 2011. Grenzüberschreitender Schutz der Großstrappe in Österreich. LIFE05 NAT/A/000077, Technical final report – 15/01/2011.
- Lockman D.C. 1988. Trumpeter Swan mortality in Wyoming 1982–1987. *Proc. and papers of the eleventh Trumpeter Swan Society Conference*, ss. 12–13.
- Maniakowski M., Gorczewski A., Kaługa I., Kustusch K., Skakuj M., Wronka-Tomulewicz M., Wuczyński A., Zblewska M. 2013. Wpływ napowietrznych sieci elektroenergetyczny średniego i wysokiego napięcia, w tym również kolejowych sieci trakcyjnych, na ptaki. GDOŚ.
- Manville A.M. 2005. Bird Strikes and Electrocutions at Power Lines, Communication Towers, and Wind Turbines: State of the Art and State of the Science – Next Steps Toward Mitigation. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191.
- Manville A.M. 2009. Towers, turbines, power lines, and buildings: steps being taken by the U.S. Fish and Wildlife Service to avoid or minimize take of migratory birds at these structures.
- Martin G.R. 2011. Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis*: 153: 239–254.
- Martin G.R., Osorio D. 2008. Vision in birds. In: Basbaum A.I., Kaneko A., Shepherd G.M., Westheimer G. (eds). *The Senses: A Comprehensive Reference, Vision 1*, vol. 1, ss. 25–52. Academic Press, San Diego.
- Martin G.R., Shaw J.M. 2010. Bird collisions with power lines: failing to see the way ahead? *Biol. Conserv.* 143: 2695–2702.
- Negro J.J., Ferrer M. 1995. Mitigating measures to reduce electrocution of birds on power lines: A comment on Bevanger's review. *Ibis* 137: 423–424.
- Nikolaus G. 1984. Large numbers of birds killed by electric powerline. *Scopus* 8: 42.
- Øygaard T.D. 2012. Birds living on the edge: power-line corridors influence on avian communities in Norwegian secondary coniferous forest. Master's Thesis. Norwegian University of Life Sciences.
- Pettersson J. 2005. The impact of offshore wind farms on bird life in southern Kalmar Sound, Sweden. A final report based on studies 1999–2003. Report to the Swedish Energy Agency. ISBN 91-631-6878-2.
- Profus P. 2006. Zmiany populacyjne i ekologia rozrodu bociana białego *Ciconia ciconia* L. W Polsce na tle populacji europejskiej. *Synteza. Stud. Naturae* 50: 1–155.
- PTPIREE 2010. Energetyka w Polsce w 2010 roku. http://www.ptpiree.pl/index.php?d=5&s=liczen_2010#ad1
- Real J., Grande J.M., Mañosa S., Sánchez-Zapata J.A. 2001. Causes of death in different areas for Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* in Spain. *Bird Study* 48: 221–228.
- Richardson W.J. 2000. Bird migration and wind turbines: migration timing, flight behaviour and collision risk. *Proc. of National Avian-Wind Power Planning Meeting II*: 132–140.
- Riegel M., Winkel W. 1971. Über Todesursachen beim Weißstorch (*Ciconia ciconia*) an Hand von Ringfunden. *Vogelwarte* 26: 128–135.
- Rose P., Baillie S. 1989. The effects of collisions with overhead lines on British birds: an analysis of ringing recoveries. BTO Research Report No. 42. British Trust for Ornithology, Thetford, UK.
- Rubolini D., Gustin M., Bogliani G., Garavaglia R. 2005. Birds and powerlines in Italy: an assessment. *Bird Conserv. Int.* 15: 131–145.
- Saltykov A.V. 2011. Birds and high-electricity lines. Expedition: travel notes. *Mir Ptich* 39: 2–8.

- Schaub M., Pradel R. 2004. Assessing the relative importance of different sources of mortality from recoveries of marked animals. *Ecology* 85: 930–938.
- Scott R.E., Roberts L.J., Cadbury C.J. 1972. Bird deaths from power lines at Dungeness. *Brit. Birds* 65: 273–286.
- Shamoun-Baranes J., van Loon., van Gasteren H., van Belle J., Bouten W., Buurma L. 2006. A comparative analysis of the influence of weather on the flight altitudes of birds. *American Meteorological Society BAMS*, January 2006. *Condor* 105: 208–218.
- Shaw J.M. 2009. The end of the line for South Africa's national bird? Modelling power line collision risk for the Blue Crane. MS thesis. University of Cape Town.
- Shobrak M. 2012. Electrocutation and collision of birds with power lines in Saudi Arabia. *Zool. Middle East* 57: 45–52.
- Schuereberg B., Schneider R., Jerrentrup H. 2010. Implementation of Recommendation No. 110/2004 on minimising adverse effects of above-ground electricity transmission facilities (power lines) on birds. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Strasbourg, 6-9 December, 2010.
- Stalmaster M.V. 1987. *The Bald Eagle*. Universe Books, New York.
- Stake M.M. 2009. Evaluating diverter effectiveness in reducing avian collisions with distribution lines at San Luis National Wildlife Refuge Complex, Merced County, California. CEC-500-2009-078. Public Interest Energy Research (PIER) Program, Ventana Wildlife Society, and California Energy Commission, Sacramento, California.
- Tintó A., Real J., Mañosa S., 2005. A classification method of power lines to prevent forest fires caused by bird electrocution. Proc. of the III International Conference on Prevention Strategies for Fires in Southern Europe, Barcelona.
- Tintó A., Real J., Mañosa S. 2010. Predicting and correcting electrocution of birds in Mediterranean areas. *J. Wildl. Manag.* 74: 1852–1862.
- Tryjanowski, P. 2001. Proximity of raven (*Corvus corax*) nest modifies breeding bird community in an intensively used farmland. *Ann. Zool. Fenn.* 38: 131–138.
- Tryjanowski P., Sparks T.H., Jerzak L. (eds). 2006. *The white stork in Poland: studies in biology, ecology and conservation*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Tryjanowski P., Sparks T. H., Jerzak L., Rosin Z. M., Skórka P. 2013. A paradox for conservation: electricity pylons may benefit avian diversity in intensive farmland. *Conserv. Lett.* doi: 10.1111/conl.12022
- Watson A. 1982. Effects of human impact on ptarmigan and red grouse near skiilifts in Scotland. *Annual Report Institute of Terrestrial Ecology*, ss. 51. Cambridge, UK.
- Winkelman J.E. 1992. The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1: collision victims. RIN rapport 92/2. Arnhem IBN-DLO.
- Wuczyński A. 2009. Wpływ farm wiatrowych na ptaki. Rodzaje oddziaływań, ich znaczenie dla populacji ptasich i praktyka badań w Polsce. *Not. Orn.* 50: 206–227.
- Wuczyński A., Tryjanowski P. 2013. Czy pieniądze wydane na naukę są zawsze stymulatorem naukowego postępu? Przykład biologii środowiskowej i energetyki wiatrowej. *Nauka* 4.

Karol Kustusch

Waryńskiego 153, 86-300 Grudziądz
karol.kustusch@gmail.com

Andrzej Wuczyński

Instytut Ochrony Przyrody PAN, Dolnośląska Stacja Terenowa
Podwale 75, 50-449 Wrocław
a.wuczynski@pwr.wroc.pl

Arkadiusz Gorczewski

Żeromskiego 78/1, 44-119 Gliwice
arekgorczewski@gmail.com