

EWA ŻURAWSKA-SETA

*Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Katedra Zoologii
Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz
E-mail: zurawskam@op.pl*

TELEMETRIA W TERIOLOGII

WSTĘP

W związku ze stałym postępem cywilizacji, wyłania się szereg zagadnień związanych z ochroną różnorodności świata dziko żyjących zwierząt. Jednym z podstawowych problemów jest właściwe kształtowanie przestrzeni oraz jej współużytkowanie, zarówno przez ludzi, jak i przez zwierzęta, celem zachowania równowagi między potrzebami człowieka a przyrodą. Aby poznać potrzeby wolno żyjących zwierząt, głównie dotyczące wymagań środowiskowych, behawioru migracyjnego i preferowanych szlaków przemieszczania się, we współczesnej teriologii (teriologia – dział zoologii zajmujący się ssakami, ich budową, ekologią, systematyką, rozmieszczeniem, ewolucją i biologią), obok metod tradycyjnych, wykorzystuje się trzy nowoczesne techniki badawcze: telemetrię, molekularne metody genetyczne i system informacji przestrzennej.

Telemetria jest bezprzewodową formą przekazywania informacji przy użyciu fal radiowych, stąd też często używany jest wyrażenie termin „radiotelemetria”. W badaniach przyrodniczych, w tym teriologicznych, metody telemetryczne wykorzystywane są do śledzenia zwierząt w terenie, zwykle z dużej odległości, bez ingerowania w ich aktywność i prowadzony tryb życia.

Obserwacje zwierząt z użyciem technik telemetrycznych, umożliwiają poznanie wielu istotnych cech biologii i ekologii poszczególnych gatunków, a także pozwalają okre-

ślić warunki środowiskowe niezbędne do życia i prawidłowego funkcjonowania populacji. Niewątpliwą zaletą tej metody jest możliwość indywidualnej identyfikacji każdego osobnika oraz uniezależnienie prowadzonych obserwacji od pory dnia czy roku, gdyż telemetria jako jedyna z metod terenowych, pozwala na gromadzenie danych przez 24 godziny na dobę, przez cały rok. Dzięki temu informacje są bardziej kompletne niż dane uzyskane innymi metodami. W ten sposób uzupełniamy aktualny stan wiedzy o poszczególnych gatunkach zwierząt i weryfikujemy niektóre dotychczasowe dane. Co więcej, bardzo często jest to jedyna metoda, która może dać rzetelne wyniki, np. o wielkości zajmowanego terytorium, strukturze przestrzennej populacji, behawiorze rozrodczym, zagrożeniach i głównych przyczynach śmiertelności zwierząt, a nadajniki w formie implantów pozwalają rejestrować także szereg parametrów fizjologicznych. Dzięki takim możliwościom, telemetria stosowana jest z powodzeniem nie tylko do zdobywania informacji o życiu dzikich zwierząt, ale również wykorzystywana jest coraz częściej do monitorowania, zarządzania, ochrony i śledzenia procesów reintrodukcji rzadkich gatunków zwierząt zagrożonych wymarciem, takich jak: tygrys syberyjski, jaguar, ryś iberyjski, pantera śnieżna, nosorożec i wiele innych, głównie w dużych parkach narodowych (KENWARD 2001, MILLSPAUGH i MARZLUFF 2001).

MOŻLIWOŚCI BADAWCZE RADIOTELEMETRII

Po raz pierwszy fale radiowe wykorzystano do śledzenia zwierząt w ich naturalnym środowisku w 1959 r., jednak kompletny system telemetryczny zastosowano w 1963r. (MECH i SHANNON 2002). Pionierskie badania telemetryczne dotyczyły pręgowca amerykańskiego (*Tamias striatus*) w Stanach Zjednoczonych oraz kaczki krzyżówki (*Anas platyrhynchos*) w Norwegii. Wraz z postępem techniki ewoluowały metody namierzania zwierząt, od konwencjonalnej radiotelemetrii z wykorzystaniem fal VHF, po zaawansowane systemy satelitarne. Mimo że badania prowadzone były równolegle w Ameryce Północnej i w Europie, telemetria w badaniach dzikiej fauny, znacznie szybciej rozwijała się na kontynencie amerykańskim (MILLSPAUGH i MARZLUFF 2001).

Aktualnie stosuje się trzy odrębne metody śledzenia zwierząt na odległość. Są to: telemetria z użyciem fal VHF (ang. very-high-frequency), której dotyczy niniejsza praca, rejestracja wykorzystująca nawigację satelitarną oraz lokalizacja przy użyciu systemu GPS (ang. Global Positioning System).

Nawigacja satelitarna wykorzystuje specjalne systemy (np. Argos, Galileo), bazujące na satelitach krążących wokół Ziemi, do przekazywania fal UHF (ang. ultra-high-frequency). Sygnał wysyłany jest przez nadajnik, przymocowany do zwierzęcia. Na podstawie odebranego sygnału, opierając się na efekcie Dopplera, satelita oblicza lokalizację danego osobnika i przekazuje tę informację do odbiorników naziemnych. Określenie w ten sposób pozycji geograficznej obserwowanego osobnika jest dużo bardziej dokładne niż przy zastosowaniu fal VHF, a więc konwencjonalnej radiotelemetrii (MECH i SHANNON 2002).

W lokalizacji zwierząt przy użyciu systemu GPS, do zwierzęcia mocowany jest nie nadajnik, a odbiornik, którego zadaniem jest detekcja i identyfikacja sygnałów transmitowanych przez trzy lub więcej satelitów, w celu niezwykle precyzyjnej lokalizacji obserwowanego osobnika. Następnie, informacja ta jest gromadzona i przechowywana w pamięci wmontowanej w odbiornik noszony przez zwierzę, bądź przekazywana do odbiornika naziemnego – albo drogą bezpośrednią, albo też po raz kolejny za pośrednictwem satelity (MECH i SHANNON 2002).

W krajach, gdzie telemetria jest znana i stosowana od wielu lat, śledzono w ten spo-

sób zarówno duże ssaki, jak i bezkręgowce, wielkości trzmiela czy chrząszcza. W Polsce, pierwsze obserwacje tego typu przeprowadzono w Zakładzie Badania Ssaków Polskiej Akademii Nauk w Białowieży w 1989 r. na tchórzach. Następnie prowadzono w Polsce projekty badawcze nad innymi gatunkami ssaków, wykorzystując telemetrię do badań podejmujących przede wszystkim problemy związane z: charakterystyką arealów osobniczych, dyspersją i migracją, wybiórczością środowiskową, śmiertelnością czy aktywnością.

Badania telemetryczne dużych drapieżników, wilka i rysia, prowadzone w Puszczy Białowieskiej, Puszczy Kampinoskiej czy w polskich Karpatach, dotyczą głównie aktywności dobowej i sezonowej tych zwierząt oraz użytkowania zajmowanej przez nie przestrzeni. Pozwalają na dokładne określenie wielkości, kształtu i szczegółowego usytuowania granic terytoriów i nakładania się sąsiednich terytoriów. Umożliwiają śledzenie zmian użytkowanych obszarów w cyklu rocznym i wieloletnim, w kontekście czynników wpływających na te zmiany. Telemetria odgrywa też istotną rolę w poznaniu sposobu korzystania z terenu przez samce i samice w ciągu doby i roku, a także w obserwowaniu wzajemnych kontaktów między osobnikami tej samej i różnej płci. Namiary telemetryczne umożliwiają śledzenie przebiegu tras wędrówek, obliczenie pokonywanych odległości przez samce i samice oraz prędkości poruszania się, w zależności od różnych czynników np. podczas polowania, w warunkach opadów deszczu czy zalegania pokrywy śnieżnej. Dostarczają wielu niezwykle cennych informacji, których zdobycie metodą tradycyjnych tropień byłoby bardzo trudne czy wręcz niemożliwe, jak choćby monitorowanie zwierząt w okresie bezśnieżnym lub w czasie rozrodu i opieki nad młodymi. Łącząc telemetrię z innymi metodami (tropienie, analiza odchodów i resztek ofiar, badania genetyczne) obserwowano procesy rozpadania się i tworzenia nowych watah wilków, zajmowania przez nie nowych terytoriów. Rozpoznano strategię polowania wilków i rysia, a także wzajemne zależności w układzie drapieżnik-ofiara. Prześledzono również wpływ obecności i działalności człowieka na aktywność dobową wilków. Na podstawie danych, zebranych między innymi przy pomocy namiarów telemetrycznych, a dotyczących zagęszczenia wil-

ków i częstości zabijania przez nie ofiar, oceniono wpływ wilków na liczebność i dynamikę populacji jelenia w Puszczy Białowieskiej (SCHMIDT i współaut. 1997; ŚMIETANA i WAJDA 1997; SCHMIDT 1998; JĘDRZEJEWSKI i współaut. 1999, 2001, 2002a, 2002b, 2004; REKLEWSKI i PUKOS 2000; THEUERKAUF i współaut. 2003; JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004, PIRGA i GULA 2005, ŚMIETANA 2005).

Równoległe do badań telemetrycznych dużych drapieżników, na terenie naszego kraju realizowane są również inne projekty badawcze. W Polsce północno-zachodniej prowadzony jest program reintrodukcji popielicy (*Glis glis*), z monitoringiem radiotelemetrycznym, umożliwiającym śledzenie losów poszczególnych osobników, przeniesionych do Puszczy Bukowej w Szczecińskim Parku Krajobrazowym i kontrolowanie rozwoju utworzonej tam populacji. Przedsięwzięcie to poprzedzono wieloletnim programem pilotażowym oraz zakończonym sukcesem wsiedleniem popielic do Sierakowskiego Parku Krajobrazowego, które również lokalizowano telemetrycznie (JURCZYSZYN 2001, 2006; JURCZYSZYN i ZGRABCZYŃSKA 2002).

Telemetria posłużyła także do badania zagadnień związanych z wykorzystaniem przestrzeni przez sarny, w terenie o charakterze mozaiki polno-leśnej. Namiary umożliwiły określenie zakresu migracji oraz wielkości i

rozmieszczenia arealów osobniczych, a także ich zmienności w cyklu rocznym i wieloletnim (WASILEWSKI 2001). Metoda namiarów telemetrycznych stosowana jest również do studiowania sposobu żerowania i użytkowania różnych środowisk przez żubry (KRASIŃSKA i współaut. 2000, PERZANOWSKI i JANUSZCZAK 2004, DALESZCZYK i współaut. 2006, KOWALCZYK i współaut. 2006). Ponadto, przeprowadzono w Polsce szereg programów badawczych nad takimi gatunkami jak: kuna (ZALEWSKI i współaut. 1995, 2004; JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004), łasica (JĘDRZEJEWSKI i współaut. 2000, JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004), borsuk (KOWALCZYK i współaut. 2003a, b, 2004; JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004), jeleń (JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004), nietoperz (JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004, RUCZYŃSKI i BOGDANOWICZ 2005), nornik (GLIWICZ 1997, 2004; JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004), głównie pod kątem charakterystyki arealów osobniczych, preferencji środowiskowych, śledzenia zakresu dyspersji i migracji, poznania rytmów aktywności dobowej i sezonowej.

Do śledzenia zwierząt w terenie, przy użyciu telemetrii, niezbędny jest odpowiedni sprzęt badawczy. Podstawowy zestaw do prowadzenia namiarów telemetrycznych składa się z dwóch podsystemów: nadawczego i odbiorczego.

NADAJNIK

Typowy nadajnik zbudowany jest z czterech elementów: pakietu elektronicznego generującego fale radiowe o określonej, specyficznej częstotliwości; źródła energii, zwykle w postaci baterii; anteny nadawczej; systemu mocującego nadajnik do zwierzęcia oraz elementów chroniących cały system przed szkodliwymi wpływami środowiska zewnętrznego.

Jako źródło energii nadajników telemetrycznych stosowane są baterie. Najczęściej są to ogniwa litowe, o długiej żywotności, które pozwalają na użytkowanie nadajnika, bez konieczności wymiany baterii, nawet do trzech lat. Inne rodzaje baterii, np. srebrne czy cynkowe, stosowane są raczej rzadko. Istnieją również systemy nadawcze korzystające z energii słonecznej, używane głównie do telemetrii tych gatunków zwierząt, które zamieszkują otwarte, dobrze oświetlone środowiska, a więc głównie ptaków. Fotoogniwa nadają się do badań długoterminowych,

ponieważ mają większe możliwości generowania energii niż inne baterie o podobnej wielkości i wadze, a tym samym zapewniają dłuższą żywotność systemu nadawczego. W niektórych modelach nadajników, obok baterii słonecznych, montowane są także ogniwa niklowo-kadmowe, pozwalające na akumulowanie energii wytwarzanej przez fotoogniwa (SNYDER i współaut. 1989, SAMUEL i FULLER 1996).

Niezwykle ważnym aspektem dotyczącym systemu nadawczego jest jego waga oraz długość czasu pracy nadajnika bez konieczności wymiany baterii. Oba te czynniki są ze sobą powiązane. Istnieje zależność wprost proporcjonalna między długością pracy nadajnika a jego wielkością, a tym samym masą, tzn. im większa bateria, tym oczywiście dłuższe „życie” nadajnika, ale za tym idzie zwiększenie gabarytów całego systemu nadawczego.

Ponadto, żywotność systemu nadawczego jest również determinowana zasięgiem

sygnału – większy zasięg wymaga większego nakładu energii, a więc skraca czas pracy nadajnika.

Aby przedłużyć „życie” baterii, w większości nadajników istnieje opcja „on/off”, dająca możliwość włączania i wyłączania nadajnika w zależności od potrzeb badawczych.

Dodatkowe funkcje nadajnika, takie jak: czujnik aktywności, czujnik śmierci, czujnik pozycji (wertikalna – horyzontalna), wykorzystywany w obserwacjach nietoperzy, oraz czujnik ekspozycji na światło, a także czujnik temperatury ciała zwierzęcia lub temperatury otoczenia, dostarczają wiele niezwykle cennych informacji o obserwowanych zwierzętach, ale równocześnie zwiększają masę nadajnika. Istnieją graniczne wartości ciężaru całego systemu nadawczego. Przyjmuje się, że ciężar nadajnika nie powinien przekroczyć 3–5% ciężaru ciała. Przy zachowaniu tej proporcji zminimalizowany jest ewentualny negatywny wpływ nadajnika na życie i prawidłowe funkcjonowanie badanego osobnika (SAMUEL i FULLER 1996, BUTCHKOSKI 2004).

Współczesne trendy w technice, zwłaszcza stała tendencja do minimalizacji wszystkich elementów systemu nadawczego, a szczególnie zastosowanie baterii pastylkowych, daje duże możliwości indywidualnego doboru wielkości, kształtu, wagi, długości pracy nadajnika, itd. Zależy to głównie od badanego gatunku oraz założeń projektu badawczego. Obecnie dostępne są transmitters ważące 0,8–1,2 g, które mogą pracować przez 20–30 dni bez wymiany baterii. Taka redukcja ciężaru oraz szeroka gama sposobów mocowania nadajnika pozwala na prowadzenie namiarów telemetrycznych bardzo małych zwierząt, takich jak drobne ssaki, a nawet bezkręgowce.

Niezwykle istotnym aspektem badań telemetrycznych jest sposób przymocowania nadajnika do ciała zwierzęcia. Możliwości mocowania systemu nadawczego są bardzo duże. Wybór metody mocowania zależy od badanego gatunku i indywidualnych potrzeb badawczych. Wśród dostępnych metod mocowania możemy wymienić: obroże, specjalne szelki, nadajniki przyklejane oraz implanty.

W obserwacjach ssaków najczęściej używane są obroże telemetryczne zakładane na szyi. Ten sposób mocowania nadajnika znajduje zastosowanie głównie w przypadku stosunkowo dużych zwierząt, z wyraźnie wyodrębnioną szyją lub dużymi uszami, albo też rogami lub porożem, które to struktury pozwalają na zamocowanie obroży z nadajnikiem, zapobiegając jednocześnie jej zsuwaniu

się z ciała zwierzęcia. Założenie obroży małym gryzoniom, oprócz możliwości zsunienia się i zgubienia nadajnika, może powodować problemy ze swobodnym poruszaniem się w norach, a nawet grozić niebezpieczeństwem zaplątania się i uwięzienia wśród gęstej roślinności, co w konsekwencji może prowadzić do śmierci. W każdym przypadku, niezależnie od wielkości zwierzęcia, obroża musi być tak zaprojektowana, aby zminimalizować jej wpływ na życie, zdrowie i zachowanie się zwierząt. Ciekawym rozwiązaniem są obroże wyłożone wewnątrz warstwą miękkiej pianki lub obroże elastyczne. Stosuje się je do obserwacji zwierząt, które podlegają sezonowym zmianom masy i kształtu ciała. Tego typu obroże umożliwiają również montaż nadajników na ciele młodych, rosnących jeszcze osobników, nie ograniczając procesu ich wzrostu i rozwoju. W przypadku gatunków, u których założenie obroży na szyi jest niemożliwe lub istnieje wysokie prawdopodobieństwo jej zgubienia, np. u ssaków morskich o krótkich, krępych szyjach (foki, delfiny, manaty) oraz do badań młodych osobników, wykorzystuje się specjalne uprząże do zamocowania systemu nadawczego, jednak to rozwiązanie również wiąże się z niebezpieczeństwem zaplątania się wśród roślin czy zahaczenia się zwierzęcia, np. o gałęzie (SAMUEL i FULLER 1996, MILLSAUGH i MARZLUFF 2001, MECH i SHANNON 2002).

Małe zwierzęta wymagają przyjęcia innych rozwiązań mocowania nadajników. W przypadku drobnych ssaków (owadożernych i gryzoni) używane są najczęściej bardzo małe i lekkie nadajniki, przyklejane do ciała zwierzęcia. Jest to metoda bardzo rozpowszechniona w badaniach nietoperzy (MECH i SHANNON 2002, BUTCHKOSKI 2004).

Inną alternatywą są nadajniki wewnętrzne, w formie implantów: podskórnych, wszczepianych do jamy brzusznej (międzyotrzewnowo), zakładanych dopochwowo lub umieszczanych w kloace. Implanty polecane są w przypadku gatunków, które nie mają wyraźnie wyodrębnionej szyi, których głowa jest mniejsza niż szyja, które bytują w norach lub jaskiniach, które mają wyjątkowo wrażliwą skórę oraz w przypadku młodych, rosnących zwierząt. Zastosowanie implantów pozwala również na gromadzenie informacji z zakresu fizjologii, takich jak rejestrowanie pracy serca, tempa oddechów, zmian temperatury, itd., w zależności od stanu fizjologicznego zwierzęcia, warunków zewnętrznych itp. W ten sposób można śledzić przebieg

procesów fizjologicznych w czasie różnych rodzajów aktywności dobowej i sezonowej, w naturalnych warunkach środowiskowych. Należy się tu jednak liczyć ze znaczną redukcją zasięgu oraz koniecznością przeprowadzenia operacji chirurgicznego wszczepienia implantu. Badania, z wykorzystaniem nadajników telemetrycznych w postaci implantów, prowadzono między innymi na takich gatunkach, jak: bóbr, wydra, świstak, lew, niedźwiedź, bizon i in. (SAMUEL i FULLER 1996, MILLSAUGH i MARZLUFF 2001, MECH i SHANNON 2002).

Elementy elektroniczne nadajnika osłonięte są obudową, która pełni funkcje ochronne zarówno przed czynnikami środowiskowymi, takimi jak wilgoć czy uszkodzenia mechaniczne, ale również przed zniszczeniem nadajnika przez same zwierzęta w wyniku drapania, ocierania, gryzienia, itd. oraz polowania i walki. W przypadku ssaków morskich obudowa musi wykazywać się nie tylko wodoszczelnością, ale również odpornością na ciśnienie. Implanty pokrywane są więc żywicą akrylową lub epoksydową (MECH i SHANNON 2002).

Każdy system nadawczy zaopatrzonej jest w antenę transmisyjną. Wyróżnia się dwa typy anten transmisyjnych.

Pierwszy z nich, to antena z jednym końcem wolnym, a drugim umieszczonym w nadajniku i zabezpieczonym odpowiednimi uszczelkami przed wilgocią i uszkodzeniami mechanicznymi. Tego rodzaju anteny stosowa-

wane są najczęściej przy obrożach telemetrycznych, a także do małych nadajników przyklejanych do ciała zwierzęcia.

Drugi typ anten transmisyjnych, to anteny w postaci pętli, której oba końce połączone są z nadajnikiem, a która otacza szyję zwierzęcia. Anteny pętlowe stosuje się przy obrożach telemetrycznych, jak również przy nadajnikach w formie implantów, gdzie antena owinięta jest wokół nadajnika. Anteny pętlowe polecane są wówczas, gdy istnieje wysokie ryzyko uszkodzenia anteny w wyniku drapania czy ocierania zwierzęcia lub specyficznego środowiska zajmowanego przez badane zwierzę, np. gęsta roślinność.

Wszystkie systemy nadawcze składają się z czterech przedstawionych wyżej komponentów, które są stosownie modyfikowane i uzupełniane dodatkowymi elementami lub czujnikami, odpowiednio do specyfiki prowadzonych badań. Dobór odpowiedniego nadajnika, o określonej częstotliwości, o optymalnej długości pracy bez konieczności wymiany baterii, o minimalnym ciężarze i właściwym kształcie, a w końcu wybór sposobu umocowania, odbywa się indywidualnie, w zależności od badanego gatunku oraz potrzeb badawczych. Właściwie dobrany system nadawczy pozwoli zminimalizować ewentualny negatywny wpływ nadajnika na życie i normalne funkcjonowanie badanych osobników.

CZĘSTOTLIWOŚĆ

Typowe badania radiotelemetryczne prowadzone są w oparciu o fale o bardzo wysokiej częstotliwości (VHF) i wykorzystują zazwyczaj następujące zakresy częstotliwości: 148–152 MHz, 163–165 MHz oraz 216–220 MHz (MECH i SHANNON 2002).

Zagadnienia związane z gospodarowaniem częstotliwościami i używaniem wszel-

kich urządzeń radiowych w każdym kraju regulowane są właściwymi aktami prawnymi. W Polsce obowiązuje ustawa z dnia 16 lipca 2004 r. – Prawo telekomunikacyjne (Dz. U. Nr 171, poz. 1800 i Nr 273, poz. 2703 oraz z 2005 r. Nr 163, poz. 1362 i Nr 267, poz. 2258).

ODBIORNIK

Zadaniem systemu odbiorczego jest detekcja i identyfikacja sygnału transmitowanego przez nadajnik. Podstawowe elementy systemu odbiorczego to: antena odbiorcza, obwody wejściowe dokonujące selekcji odbieranych sygnałów, detektor (demodulator) przekształcający odebrany sygnał w postaci fali radiowej na sygnał akustyczny, głośnik

lub słuchawki oraz źródło prądu, zwykle w postaci akumulatorów lub baterii. Dodatkowymi urządzeniami towarzyszącymi odbiornikowi telemetrycznemu są różnorodne urządzenia służące wczytywaniu, gromadzeniu i przetwarzaniu danych (pamięć).

Oczywistym jest, że zakres częstotliwości odbieranych przez system odbiorczy musi

być zharmonizowany z częstotliwościami fal radiowych emitowanych przez nadajnik. Istnieją odbiorniki regulowane ręcznie, które mogą pracować na 16–100 różnych częstotliwościach. Tego typu urządzenia polecane są przy śledzeniu małej liczby osobników, gdzie badacz manualnie wybiera częstotliwości, które chce aktualnie rejestrować.

Do badania większej liczby osobników stosuje się odbiorniki automatycznie wybierające żądane częstotliwości, które mogą przeszukiwać 400–1000 kanałów. Urządzenia te mają zazwyczaj wbudowaną pamięć do gromadzenia zebranych informacji. Ponadto, można je zaprogramować na automatyczne odbieranie sygnału, na kilku różnych częstotliwościach, w określonych interwałach czasowych, od kilku sekund do 10 minut. Pozwala to na zlokalizowanie i śledzenie wielu zwierząt jednocześnie, a tym samym na zgromadzenie dużej ilości danych o kilku-kilkunastu osobnikach w tym samym czasie. Jednakże tego typu odbiorniki są znacznie droższe od urządzeń regulowanych manualnie (MECH i SHANNON 2002, BUTCHKOSKI 2004).

Każdy system odbiorczy posiada antenę, dzięki której możliwe jest odbieranie fal transmitowanych przez nadajnik oraz ustalenie kierunku, z którego pochodzi sygnał. Antena musi być nastrojona na częstotliwość,

na której pracują nadajniki i odbiornik. W obserwacjach terenowych stosuje się różne rodzaje anten odbiorczych: od prostych, pojedynczych anten, poprzez anteny pętlowe, po dwuelementowe anteny w kształcie litery „H”, czy też wieloelementowe anteny Yagi. Przy badaniach wymagających operowania anteną bezpośrednio przez badacza ważna jest waga i rozmiar anteny, dlatego istnieje stała tendencja do zmniejszania rozmiarów i ciężaru anten ręcznych. W pracy w terenie najczęściej korzysta się z kompaktowych anten Yagi, pozwalających dość szybko określić kierunek sygnału, ale stosunkowo nieporęcznych w gęstej roślinności, lub anten „H”, wygodniejszych w użyciu w terenie z bujną szatą roślinną. W niektórych przypadkach, w celu precyzyjnego wyznaczenia kierunku nadawanego sygnału, wymagane jest użycie różnych typów anten w jednym projekcie badawczym. Wybór anteny zależy również od częstotliwości, a tym samym od długości fali i jej zasięgu, a także sposobu pracy w terenie, tzn. wybranej metody tropienia. Obok anten ręcznych, prowadzone są również namiary z wykorzystaniem anten montowanych do samochodów, samolotów czy stacjonarnych systemów odbiorczych (MECH i SHANNON 2002, BUTCHKOSKI 2004).

METODY LOKALIZACJI

Namierzanie zwierząt w terenie, przy użyciu telemetrii, może odbywać się dwoma podstawowymi sposobami. Pierwszy z nich, tzw. „homing” (ang.), polega na podążaniu w tę stronę, z której dochodzi najsilniejszy sygnał. Badacz kieruje się w stronę najsilniejszego sygnału tak długo, aż będzie w stanie zobaczyć śledzone zwierzę, lub w inny sposób stwierdzić jego obecność i określić jego położenie. Jest to jedna z pierwszych, najwcześniej stosowanych metod, wykorzystywana w badaniach telemetrycznych już na początku lat 60. ubiegłego stulecia. Technika ta nie jest polecana, ze względu na wysokie prawdopodobieństwo niepokojenia śledzonych zwierząt, a tym samym wpływania na ich zachowanie, cykl aktywności dobowej czy szlaki przemieszczania się.

Drugi sposób to metoda triangulacji, polegająca na wykreślaniu na mapie aktualnej pozycji obserwowanego osobnika w punkcie przecięcia się linii wyznaczających kierunki namiarów, dokonanych przynajmniej w

dwóch różnych stanowiskach odbiorczych. Triangulacja wykorzystuje tę właściwość trójkąta, że znajomość długości jednego boku i dwóch kątów wystarczy do konstrukcji całej figury. Aby poprawić dokładność lokalizacji wybiera się trzy lub cztery stanowiska odbiorcze. Wymagane jest jednoczesne rejestrowanie sygnału ze wszystkich stanowisk odbiorczych, ponieważ zbyt długi interwał czasowy pomiędzy detekcją sygnału na kolejnych stanowiskach może prowadzić do istotnych błędów w lokalizacji śledzonego osobnika, spowodowanych jego przemieszczaniem się. Triangulacja pozwala na wyznaczenie lokalizacji poszczególnych osobników ze znacznej odległości, co znacznie zmniejsza ryzyko niepokojenia zwierząt obecnością badacza, a co za tym idzie redukuje wpływ człowieka na ich normalny tryb życia (MECH i SHANNON 2002, JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004).

Oba wyżej opisane sposoby telemetrycznego śledzenia zwierząt wymagają obecności badacza w terenie. Istnieje również możli-

wość określania aktualnej pozycji badanych osobników na danym obszarze w sposób automatyczny. Wymaga to jednak bardziej zaawansowanego sprzętu badawczego. Niewątpliwą zaletą jest tu zupełna eliminacja zakłócania normalnego behawioru zwierząt przez badacza. Zmniejsza się też prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez człowieka, np. przy nanoszeniu danych na mapy. Po raz pierwszy metodę tę zastosowano w połowie lat 60. XX w., na Uniwersytecie w

Minnesocie, do lokalizowania 52 zwierząt. Wykorzystano system Cedar Creek, z dwoma obracanymi masztami antenowymi Yagi o wysokości 20 m i 30 m, odbierającymi sygnał co 45 s z odległości 100 m do 10 km (MECH i SHANNON 2002).

Zebrane telemetrycznie dane wymagają odpowiedniego opracowania. Dostępne są różnorodne programy komputerowe pozwalające na kompleksową analizę i interpretację zgromadzonego materiału.

PODSUMOWANIE

Obecnie żyje na świecie około 4260 gatunków ssaków, z których ok. 90 występuje w Polsce. Od momentu rozpoczęcia rejestrowania i opisywania kolejnych gatunków, wyginęło już 90 gatunków ssaków zamieszkujących Ziemię, a następne 240 zagrożonych jest wymarciem (BŁAŻEJEWSKI 2001, JĘDRZEJEWSKA i WÓJCIK 2004).

Telemetria daje ogromne możliwości zdobywania dokładnych informacji o życiu i zwyczajach dziko żyjących zwierząt, co jest bezwzględnie warunkiem podjęcia świadomych działań, zmierzających do ich skutecznej ochrony.

Różnorodność i szeroki wybór rozwiązań systemowych pozwala na indywidualne dobranie najważniejszego sprzętu. Prace nad ulepszeniem metod telemetrycznych podążają w kierunku minimalizacji nadajników, głównie poprzez stosowanie małych i lekkich baterii pastylkowych, o długiej żywotności oraz nad sposobami mocowania systemów nadawczych.

Projekty badawcze z wykorzystaniem metod telemetrycznych skupiają się głównie na takich zagadnieniach jak: określanie wielkości arealów osobniczych, preferencje środowiskowe poszczególnych gatunków, trasy wędrówek zwierząt, itd. Nadajniki w formie implantów pozwalają również na prowadzenie badań z zakresu fizjologii zwierząt. Obecnie kompleksowe, interdyscyplinarne studia pełnią ważną rolę w monitorowaniu, zarządzaniu i reintrodukcji rzadkich gatunków zwierząt. Współczesny świat ciągle stawia nowe pytania przed naukami przyrodniczymi, a dzisiejsze zainteresowanie skierowane jest głównie na zrozumienie mechanizmów oraz zależności demografii i behawioru zwierząt od ciągle zmieniających się warunków środowiska.

Rozwijanie technik telemetrycznych podyktowane jest stałą potrzebą poszerzania wiedzy na temat biologii i ekologii poszczególnych gatunków zwierząt, która jest podstawą ochrony różnorodności świata dzikiej fauny.

TELEMETRY IN THERIOLOGY

Summary

This article presents the subject connected with wildlife researches, especially with tracking mammals in their natural environment. Telemetry is the most advanced method used in wildlife studies. It is a technique of gathering information about animals by using radio waves. It allows to accumulate data on location about an individual animal over time.

Three distinct types of telemetry are in use today:

- the very high frequency radio-tracking (VHF),
- satellite tracking,
- Global Positioning System tracking (GPS).

In VHF radio-tracking an animal wearing a transmitter can be tracked by a researcher with a receiver and directional antenna.

The satellite telemetry also uses a special trans-

mitter attached to an animal. The device sends an ultra high frequency signal to satellites. The satellites calculate the position of the animal based on the Doppler effect and send this information to the receiver on the ground.

The GPS tracking, in contrast to the two previous methods, is based on a radio receiver, not transmitter, attached to the animal. The receiver picks up signals from several satellites and calculates the current position of the animal. This data can be stored or immediately send to the researcher. The sending of information can be made by two ways: first – by using another satellite and second – by using an antenna on the ground.

The VHF radio-tracking is the standard method used in researches on mammals, therefore the pa-

per is concentrated on this technique. It describes: essential equipment, methods of tracking and possibilities of application of the VHF radio-tracking in theriology, especially in Poland.

The basic components of the radio-tracking system are: a transmitting subsystem consisting of a radio transmitter, a power source, a propagating antenna; and a receiving subsystem including a "pick-up" antenna, a signal receiver and power supply.

In the VHF radio-tracking transmitting subsystem there are some electronic components inside the transmitter to create the radio signal of special, individual frequency. As a source of power there are usually used lithium batteries or silver oxide batteries or solar cells, but not so often. The solar batteries can be used only for animals who live in wide open areas. The life of all transmitting subsystems is depended on the life of the batteries and it is connected with the size and weight of the transmitter. Very important thing is the method of attachment.

There are lots of solutions. The most popular are collars, but there are also harnesses, glue-one transmitters or implantable transmitters.

In Poland, telemetry is mainly used in many wildlife studies, to monitor the populations of big predators – wolf and lynx, other animals like European bison and roe deer, and small mammals like dormouse or common vole and many others.

The radio-tracking permits to complete information such as: size of the home range, migration, spatial organization of population, breeding behaviour, and main causes of death, without any interference in the animals normal behaviour. The implantable transmitters are also able to collect many physiological parameters.

The development of radio-tracking is necessary to complete our knowledge about biology and ecology of animal species, because it is the basis of effective protection of nature.

LITERATURA

- BŁĄŻEJEWski F., 2001. *Zarys zoologii systematycznej*. Wyd. Naukowe ATR, Bydgoszcz.
- BUTCHKOSKI C. M., 2004. *Indiana bat (Myotis sodalis) radio tracking and telemetry studies – getting started*. [W:] *Proceedings of Indiana Bat and Coal Mining: A Technical Interactive Forum*. VORIES K. C., HARRINGTON A. (red.). U. S. Department of Interior Office of Surface Mining, Coal Research Center, Southern Illinois University, Alton-Carbondale, Illinois, 69–80.
- DALESZCZYK K., KRASIŃSKA M., KRASIŃSKI Z., BUNEVICH A. N., 2006. *Zmiana klimatu w Puszczy Białowieskiej a wykorzystanie różnych typów środowiska przez żubry*. [W:] *Perspektywy rozwoju populacji żubrów*. Konferencja Naukowa, 13–14. 10. 2006. Ośrodek Edukacji Ekologicznej „Pszczynskie żubry” przy Nadleśnictwie Kobiór, 11.
- GLIWICZ J., 1997. *Space use in the root vole: basic patterns and variability*. *Ecography* 20, 383–389.
- GLIWICZ J., 2004. *Od żbika do nornika czyli jak telemetria wspiera ochronę ssaków*. [W:] *Ochrona ssaków – populacje wolno żyjące*. Ogólnopolska Konferencja, 19–20. 03. 2004. Uniwersytet Adama Mickiewicza, Poznań, 19.
- JĘDRZEJEWSKA B., WÓJCIK J. M. (red.), 2004. *Eseje o ssakach Puszczy Białowieskiej*. Zakład Badania Ssaków PAN, Białowieża.
- JĘDRZEJEWSKI W., JĘDRZEJEWSKA B., SCHMIDT K., OKARMA H., KOWALCZYK R., 1999. *Ekologia rysia (Lynx lynx) w Puszczy Białowieskiej*. *Wiad. Ekol.* 45, 17–41.
- JĘDRZEJEWSKI W., JĘDRZEJEWSKA B., ZUB K., NOWAKOWSKI W. K., 2000. *Activity patterns of radio – tracked weasles Mustela nivalis in Białowieża National Park (E Poland)*. *Ann. Zool. Fennici* 37, 161–168.
- JĘDRZEJEWSKI W., SCHMIDT K., THEUERKAUF J., JĘDRZEJEWSKA B., OKARMA H., 2001. *Daily movements and territory use by radio – collared wolves (Canis lupus) in Białowieża Primeval Forest in Poland*. *Can. J. Zool.* 79, 1993–2004.
- JĘDRZEJEWSKI W., NOWAK S., SCHMIDT K., JĘDRZEJEWSKA B., 2002a. *Wilk i ryś w Polsce – wyniki inwentaryzacji w 2001 roku*. *Kosmos* 51, 491–499.
- JĘDRZEJEWSKI W., SCHMIDT K., OKARMA H., KOWALCZYK R., 2002b. *Movement pattern and home range use by the Eurasian lynx in Białowieża Primeval Forest (Poland)*. *Ann. Zool. Fennici* 39, 29–41.
- JĘDRZEJEWSKI W., SCHMIDT K., JĘDRZEJEWSKA B., THEUERKAUF J., KOWALCZYK R., ZUB K., 2004. *The process of a wolf pack splitting in Białowieża Primeval Forest, Poland*. *Acta Theriol.* 49, 257–280.
- JURCZYSZYN M., 2001. *Reintroduction of the edible dormouse (Glis glis) in Sierakowski Landscape Park (Poland)*. *Preliminary results*. *Trakya Univ. J. Sci. Res. Series B* 2, 111–114.
- JURCZYSZYN M., 2006. *The use of space by translocated edible dormice, Glis glis (L.), at the site of their original capture and the site of their release: radio – tracking method applied in a reintroduction experiment*. *Pol. J. Ecol.* 54, 345–350.
- JURCZYSZYN M., ZGRABCZYŃSKA E., 2002. *Home range size of the wild and reintroduced edible dormice (Glis glis)*. *Adv. Ethology* 37, 40.
- KENWARD R., E., 2001. *A Manual of Wildlife Radio Tagging*. Academic Press, Londyn-California.
- KOWALCZYK R., JĘDRZEJEWSKA B., ZALEWSKI A., 2003a. *Annual and circadian activity patterns of badgers Meles meles in Białowieża Primeval Forest (E Poland) compared to other Palaearctic populations*. *J. Biogeogr.* 30, 463–472.
- KOWALCZYK R., ZALEWSKI A., JĘDRZEJEWSKA B., JĘDRZEJEWSKI W., 2003b. *Spatial organization and demography of badgers Meles meles in Białowieża Forest (Poland) and the influence of earthworms on badger densities in Europe*. *Can. J. Zool.* 81, 74–87.
- KOWALCZYK R., ZALEWSKI A., JĘDRZEJEWSKA B., 2004. *Seasonal and spatial pattern of shelter use by badgers Meles meles in Białowieża Primeval Forest (Poland)*. *Acta Theriol.* 49, 75–92.
- KOWALCZYK R., KRASIŃSKI Z. A., KRASIŃSKA M., 2006. *Strategie rujowe byków żubra w Puszczy Białowieskiej*. [W:] *Perspektywy rozwoju populacji żubrów*. Konferencja Naukowa, 13–14. 10. 2006. Ośrodek Edukacji Ekologicznej „Pszczynskie żubry” przy Nadleśnictwie Kobiór, 10–11.
- KRASIŃSKA M., KRASIŃSKI Z., BUNEVICH A. N., 2000. *Factors affecting the variability in home range size and distribution in European bison in the Polish and Belarussian parts of the Białowieża Forest*. *Acta Theriol.* 45, 321–334.
- MECH L. D., SHANNON M. B., 2002. *A critique of wildlife radio – tracking and its use in national*

- parks: a report to the U. S. National Park Service*. U. S. Geological Survey, Northern Prairie Wildlife Research Center, Jamestown.
- MILLSPAUGH J. J., MARZLUFF J. M., 2001. *Radio Tracking and Animal Populations*. Academic Press, Londyn-California.
- PERZANOWSKI K., JANUSZCZAK M., 2004. *Wstępna ocena dynamiki areatów żubrów *Bison bonasus* w Bieszczadach*. Parki Nar. i Rez. Przynr. 23, 639-646.
- PIRGA B., GULA R., 2005. *Spójność środowiska bytowania populacji wilka (*Canis lupus*) na antropogenicznie zmienionych obszarach Bieszczadów i Pogórza*. [W:] *Zmiany w populacjach ssaków jako pochodna dynamiki zmian środowiska*. HĘDRZAK M. (red.). AR, Kraków, 72-77.
- REKLEWSKI J., PUKOS P., 2000. *Ryś w Kampinoskim Parku Narodowym*. Przyroda Polska 8, 8-9.
- RUCZYŃSKI I., BOGDANOWICZ W., 2005. *Roost cavity selection by *Nyctalus noctula* and *N. leisleri* in Białowieża Primeval Forest, Eastern Poland*. J. Mamm. 86, 921-930.
- SAMUEL M. D., FULLER M. R., 1996. *Wildlife radiotelemetry*. [W:] *Research and Management Techniques for Wildlife and Habitats*. BOOKHOUT T. A. (red.). The Wildlife Society, Bethesda, Maryland, 370-418.
- SCHMIDT K., JĘDRZEJEWSKI W., OKARMA H., 1997. *Spatial organization and social relations in the Eurasian lynx population in Białowieża Primeval Forest*. Acta Theriol. 42, 289-312.
- SCHMIDT K., 1998. *Maternal behaviour and juvenile dispersal in the Eurasian lynx*. Acta Theriol. 43, 391-408.
- SNYDER N. F. R., BEISSINGER S. R., FULLER M. R., 1989. *Solar radio – transmitters on snail kites in Florida*. J. Field Ornith. 60, 171-177.
- ŚMIETANA W., 2005. *Dynamika liczebności i organizacje przestrzenna wilków w Bieszczadach Wysokich*. [W:] *Zmiany w populacjach ssaków jako pochodna dynamiki zmian środowiska*. HĘDRZAK M. (red.). AR, Kraków, 84-85.
- ŚMIETANA W., WAJDA J. 1997. *Wolf number changes in Bieszczady National Park, Poland*. Acta Theriol. 42, 241-253.
- THEUERKAUF J., JĘDRZEJEWSKI W., SCHMIDT K., OKARMA H., RUCZYŃSKI I., ŚNIEŻKO S., GULA R., 2003. *Daily patterns and duration of wolf activity in the Białowieża Forest, Poland*. J. Mamm. 84, 243-253.
- WASILEWSKI M., 2001. *Wpływ mozaiki polno – leśnej na sposób użytkowania terenu przez sarny *Capreolus capreolus Linnaeus, 1758**. Wyd. SGGW, Warszawa.
- ZALEWSKI A., JĘDRZEJEWSKI W., JĘDRZEJEWSKA B., 1995. *Pine marten home ranges, numbers and predation on vertebrates in a deciduous forest (Białowieża National Park, Poland)*. Ann. Zool. Fennici 32, 131-144.
- ZALEWSKI A., JĘDRZEJEWSKI W., JĘDRZEJEWSKA B., 2004. *Mobility and home range by pine marten (*Martes martes*) in a Polish primeval forest*. Ecoscience 11, 113-122.