

Monitoring akustyczny ptaków migrujących nocą – zagadnienia związane z automatyczną detekcją głosów

Hanna Pamuła, Maciej Kłaczyński, Wiesław Wszolek,
Magdalena Remisiewicz

Abstrakt: Celem artykułu jest wprowadzenie w problematykę związaną z monitoringiem akustycznym ptaków migrujących nocą. Przedstawiono koncepcję i wstępne wyniki takiego monitoringu na wybrzeżu Bałtyku. Zwrócono także uwagę na problemy występujące przy wykonywaniu długookresowych nagrań środowiskowych, m.in. trudności ze zmiennymi warunkami atmosferycznymi i różnymi zakłóceniami środowiskowymi. Następnie porównano metody automatyczne i manualne ekstrakcji głosów ptaków z nagrań uzyskanych jednej przykładowej nocy. Dwa testowane programy automatycznie wykrywające głosy wykazały się kilkakrotnie mniejszą skutecznością w wykrywaniu ptasich głosów niż segmentacja manualna, ale automatyczne przetwarzanie nagrań przy ich użyciu było ponad czterokrotnie mniej czasochłonne. Artykuł wskazuje na potrzebę dalszego rozwoju metod automatycznej analizy głosów nocnych migrantów, które mogłyby stać się metodą wspomagającą istniejące metody badania wędrówek ptaków.

Słowa kluczowe: wędrówki ptaków, głosy nocnych migrantów, przetwarzanie sygnałów, monitoring przyrodniczy

Acoustic monitoring of birds migrating at night – issues related to automatic detection of calls.

Abstract: The aim of the paper is to introduce the readers to the issues of acoustic monitoring of nocturnal bird migration. The concept and preliminary results from such a monitoring on the Baltic Sea coast are presented. Problems and difficulties occurring in environmental long-term recordings, as changing weather conditions and environmental noises of different types are identified. Manual and automatic extraction of voices from recordings from one night are performed and compared. We have found that two tested automatic programs were a few times less efficient but four times less time-consuming than manual segmentation. The paper shows the need for developing methods of automatic analysis of calls of nocturnal migrants, which could become in the future the complementary method for birds migration research.

Key words: bird migration, nocturnal flight calls, acoustic signal processing, biodiversity monitoring

Monitoring przyrodniczy jest podstawą nie tylko do skutecznej ochrony bioróżnorodności, ale także do dobrego opisu stanu środowiska, ekosystemów czy stopnia zrównoważonego rozwoju. Czasochłonność i wysokie koszty ograniczają stosowanie niektórych tradycyjnych metod monitoringu przyrodniczego. W celu uzyskania większej liczby wiarygodnych danych mniejszym kosztem, poszukuje się sposobów na uzupełnienie tych badań metodami zautomatyzowanymi (Pamuła & Kłaczyński 2016).

Monitoring akustyczny nocnych migrantów bywa stosowany w badaniach wędrówek ptaków do oceny intensywności przelotu i fenologii wędrówki (Sanders & Mennill 2014), uzupełniając badania migracji za pomocą obrączkowania, a także do wykrywania rzadkich gatunków ptaków (Murray 2004). Monitoring akustyczny ptaków wędrujących nocą, zarówno jakościowy jak i ilościowy, to zagadnienie dotychczas słabo opisane

w literaturze, szczególnie europejskiej. Może to być spowodowane specyfiką dźwięków wydawanych przez wróblowe Passeriformes w czasie migracji, gdyż są to dźwięki o wysokiej częstotliwości (najczęściej z przedziału 6–10 kHz) i bardzo krótkie (najczęściej trwające 0,02–0,2 s). Dźwięki te są mało znane ze względu na swój charakter i porę występowania, w przeciwieństwie do dobrze rozpoznawanych dziennych śpiewów czy głosów ptaków migrujących za dnia (Pamuła 2016).

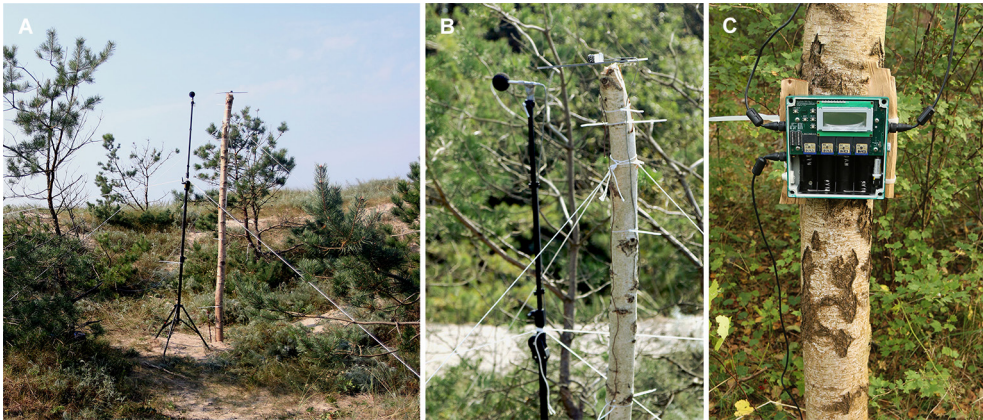
Obecnie dostępnych jest kilka rozwiązań do automatycznego segmentowania nagrań, a nawet klasyfikowania ptasich głosów. Istnieją zarówno komercyjne programy, takie jak Raven Pro, Kaleidoscope Pro, Avisoft Bioacoustics czy Sound ID, jak i darmowe programy i biblioteki *open source*, takie jak Sound Analysis Pro, XBAT, warbleR w środowisku R czy Tseep-x i Thrush-x. Problemem jest jednak niewielka liczba nagrań nocnych głosów ptaków europejskich, których można by użyć jako wzorców w systemach rozpoznawania gatunków. Kilka ośrodków naukowych w USA i Kanadzie zajmuje się głosami nocnych migrantów, analizując je, kolekcjonując i udostępniając płyty do nauki głosów (np. Evans & O'Brien 2002). W Europie dostępne są dwa zestawy zawierające tylko głosy ptaków w locie, w tym nieliczne głosy nocnych migrantów (van der Berg et al. 2003, Bergmann et al. 2014). W latach 80. XX wieku powstawały inne opracowania, które jednak są obecnie bardzo trudno dostępne (np. Chappuis 1989).

Mimo że wiele gatunków ptaków europejskich (np. większość z rodzajów *Sylvia*, *Phylloscopus*, *Acrocephalus*, *Locustella*) to nocne migranty, w literaturze dostępne są informacje o niewielu gatunkach odzywających się regularnie podczas nocnego lotu, np. o drozdach *Turdus*, niektórych trznadlach *Emberiza* (np. ortolan *E. hortulana*, Robb et al. 2016), czy mysikrólikach *Regulus regulus* i zniczkach *R. ignicapillus* (Farnsworth 2005). Co najmniej 65 gatunków północnoamerykańskich odzywa się podczas nocnych wędrówek, głównie drozdy, lasówki Parulidae i pasówki Passerellidae (Evans & O'Brien 2002, Sanders & Mennill 2014). Sugeruje to, że nocne wokalizacje ptaków europejskich są znacznie uboższe w porównaniu z gatunkami z Ameryki Północnej. Może to być jednak efekt słabego poznania głosów nocnych europejskich migrantów, co skłania do zajęcia się tą tematyką.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wstępnych wyników monitoringu akustycznego nocnych migrantów przeprowadzonego w czasie jesiennej wędrówki na polskim wybrzeżu Morza Bałtyckiego. Dokonano oceny jakości nagrania i możliwości automatycznej detekcji głosów ptaków oraz częstości wokalizacji ptaków wróblowych podczas jesiennej nocnej migracji na wybrzeżu Bałtyku.

Materiały i metody

Długookresowe nagrania głosów nocnych migrantów prowadzone były od połowy września do początku listopada roku 2016 przy Terenowej Stacji Obrączkowania Ptaków Bukowo-Kopań (54°20'17,66"N; 16°14'43,09"E), należącej do Stacji Badania Wędrówek Ptaków Uniwersytetu Gdańskiego, w ramach Akcji Bałtyckiej, każdej doby od zmierzchu do świtu. Nagrania wykonano rejestratorem SM2+ połączonym z kierunkowym mikrofonem SMX-NFC, umieszczonym na płaskiej plastikowej płycie (Wildlife Acoustics Inc, USA). Płyta z mikrofonem została umocowana na słupie na wysokości 4 m i ustawiona na wydmie o wysokości około 5 m (fot. 1). Zastosowanie płyty o wymiarach 30 × 30 cm powodowało odizolowanie mikrofonu od zakłóceń dochodzących od strony gruntu przy jednoczesnym wzmocnieniu rejestrowanego sygnału w zakresie 3–6 dB. Poziom wzmocnienia układu rejestrującego dobrano eksperymentalnie i wynosił on 36dB na rejestratorze i 12dB na mikrofonie.



Fot. 1. Stanowisko pomiarowe. A) ogólny widok na miejsce pomiaru; B) mikrofon pomiarowy G.R.A.S. umieszczony na statywie i mikrofon SMX-NFC umieszczony na słupie; C) rejestrator SM2+ (fot. Hanna Pamuła) – Recording setup. A) general view of the recordings site; B) microphone G.R.A.S. on the tripod and microphone SMX-NFC on the pole; C) song meter SM2+

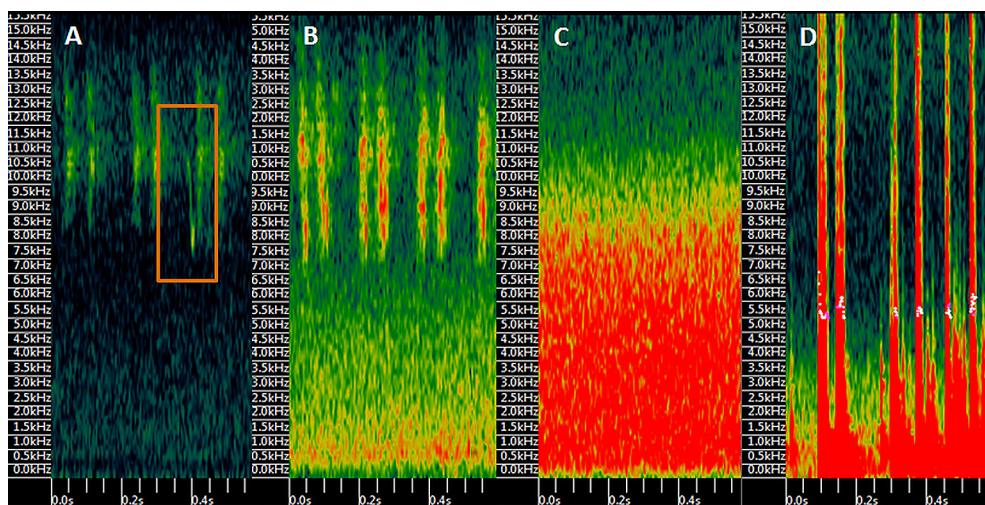
Dodatkowo, na potrzeby badań wykonano sprawdzenie charakterystyk częstotliwościowych skuteczności mikrofonów oraz ich charakterystyk częstotliwościowych kierunkowości w komorze bezchowej Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w Krakowie. Uzyskane wyniki były zadowalające i potwierdziły założenia producenta. Zasięg czułości mikrofonu nie został podany w specyfikacjach sprzętowych, ale podobne mikrofony do nagrywania głosów nocnych migrantów najczęściej są w stanie zarejestrować dźwięki z odległości do 250–500 m (Sanders & Mennill 2014). Zasięg ten jest zmienny i zależy od wielu czynników: typu głosu ptaka (jego mocy akustycznej, charakteru widma częstotliwościowego), czynników pogodowych wpływających na tłumienie propagacji dźwięku (temperatura, wilgotność, ciśnienie atmosferyczne) (PN-ISO 9613-1:2000, PN-ISO 9613-2:2000), ukształtowania terenu. Dodatkowo, wykonano nagrania profesjonalnym miernikiem i analizatorem dźwięku SVAN 945A (SVANTEK, Polska) wyposażonym w mikrofon pomiarowy typ 40 AF (G.R.A.S., Dania) oraz rejestrator przebiegów czasowych dźwięku ZOOM H4. Mikrofon tego systemu ustawiono obok jednego z mikrofonów SMX-NFC (rys. 1). Zastosowana aparatura pomiarowa zapewniła nagrania wykonane w paśmie częstotliwości 20 Hz – 20 kHz z częstotliwością próbkowania 44,1 kHz oraz dynamiką sygnału powyżej 90 dB i stanowiła referencyjny materiał badawczy.

Z zarejestrowanego materiału wybrano jedną noc (ok. 2% z 606 godzin materiału), aby ocenić jakość nagrania i możliwości automatycznej detekcji głosów ptaków oraz by sprawdzić czy ptaki odzywają się podczas jesiennej nocnej migracji na wybrzeżu Bałtyku. Wybrano pogodną noc z 25. na 26.09.2016 (18:46–5:46, od zachodu słońca do godziny przed wschodem, łącznie 11 h), z temperaturą od 10 do 15°C, ze słabym południowo-wschodnim wiatrem (ok. 4 m/s, w porywach do 8 m/s), który nie zakłócał w sposób istotny nagrań. W nagraniach zaznaczono w sposób manualny wszystkie głosy ptaków wróblowych. W tym celu użyto programu Audacity, jednorazowo wyświetlając 6 sekund nagrania w formie spektrogramu, by nie przeoczyć impulsowych dźwięków wydawanych przez śpiewaki *Turdus philomelos* czy mysikróliki (zakres częstotliwości 0–14 kHz, szerokość ramki 256 próbek, okno Hamminga). Warto podkreślić, że w niniejszych badaniach zliczano pojedyncze, unikalne głosy nocnych migrantów; tylko w przypadku gdy dwa głosy zarejestrowano w małym odstępnie czasowym (mniej niż 200–300 ms) liczono je

jako jeden głos. Następnie wybrano dwa z dostępnych na rynku programów do ekstrakcji ptasich głosów – Kaleidoscope Pro (Wildlife Acoustics, Inc., USA) oraz Tseep-x (OldBird Inc., USA) i porównano wyniki z analizą manualną. Program Kaleidoscope Pro, który jest bardziej zaawansowany i umożliwia grupowanie głosów, został ustawiony na wykrywanie głosów drozdów (m.in. zakres częstotliwości 5–9,5 kHz, czas trwania 0,05–1 s), gdyż przy szerszym zakresie częstotliwości wykrywał dodatkowo kilka-kilkanaście tysięcy głosów owadów. Następnie wykorzystano program Tseep-x, prostszy od poprzedniego, w którym nie ma możliwości zmiany ustawień czy wyboru parametrów, na podstawie których wykrywane są poszukiwane dźwięki. W tej wersji programu wyszukiwane są głosy w zakresie 6–10 kHz. Istnieje też bliźniaczy program Thrush-x do wykrywania niższych głosów amerykańskich drozdów w zakresie od 2,8 do 5 kHz, jednak europejskie drozdy cechują się wyższymi głosami, najczęściej z pasma częstotliwości 6–8 kHz, dlatego wybrano program Tseep-x.

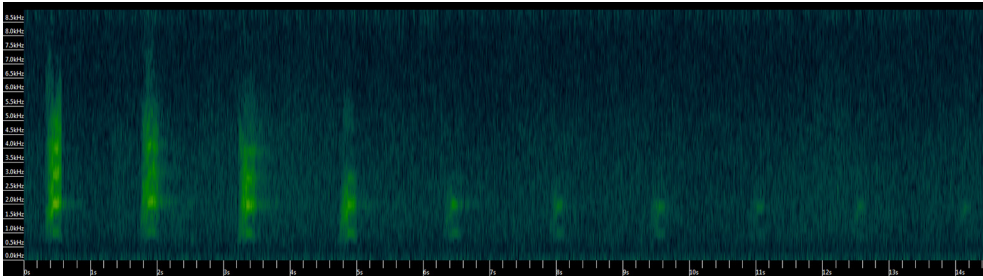
Wyniki i dyskusja

Największym utrudnieniem w czasie analiz były zmienne warunki atmosferyczne (wiatr, wilgotność, temperatura itp.), do których trzeba było odpowiednio dobrać wzmocnienia i wyposażenie sprzętowe. Na to nakładały się zakłócenia środowiskowe, np. szum fal morskich, roślinności lub brzęczące owady, np. owady prostoskrzydłe emitujące dźwięki strydulacyjne na podobnych zakresach częstotliwości co drozdy (rys. 1).



Rys. 1. Spektrogramy (wynik krótkoczasowej transformaty Fouriera) różnych rodzajów zakłóceń występujących w długookresowych nagraniach (przedstawiono fragmenty 0,5 sekundy) z terenu badań: A) owady prostoskrzydłe utrudniające wykrycie głosu śpiewaka *Turdus philomelos* (sygnał zaznaczony ramką); B) owady prostoskrzydłe wydające dźwięki o niższych częstotliwościach, uniemożliwiające wykrycie wysokiego impulsowego głosu śpiewaka, w tle szum morza (najniższe częstotliwości); C) silny wiatr i szum morza; D) deszcz

Fig. 1. Spectrograms (the result of short-time Fourier transform) of different types of noises occurring in long-term environmental recordings (0.5 sec periods are presented): A) grasshoppers frequencies coincide with Song Thrush calls (marked with a frame), making the extraction difficult; B) grasshoppers calling in broader band, exactly in the frequencies of Song Thrush calls, making the sound extraction impossible; sound of the sea in the background (the lowest frequencies); C) strong wind and sound of the sea; D) rain



Rys. 2. Spektrogram przedstawiający głosy oddalającej się czapli siwej *Ardea cinerea*. Wraz z oddalaniem się ptaka od mikrofonu udział wyższych częstotliwości maleje aż do całkowitego ich wytłumienia. Przerwy pomiędzy poszczególnymi głosami zostały zminimalizowane w celu lepszego przedstawienia omawianego zjawiska

Fig. 2. Spectrogram presenting the sounds of Grey Heron flying away from the microphone. Contribution of higher frequencies decreases as the bird flies away. Gaps between consecutive calls were reduced for clearer presentation

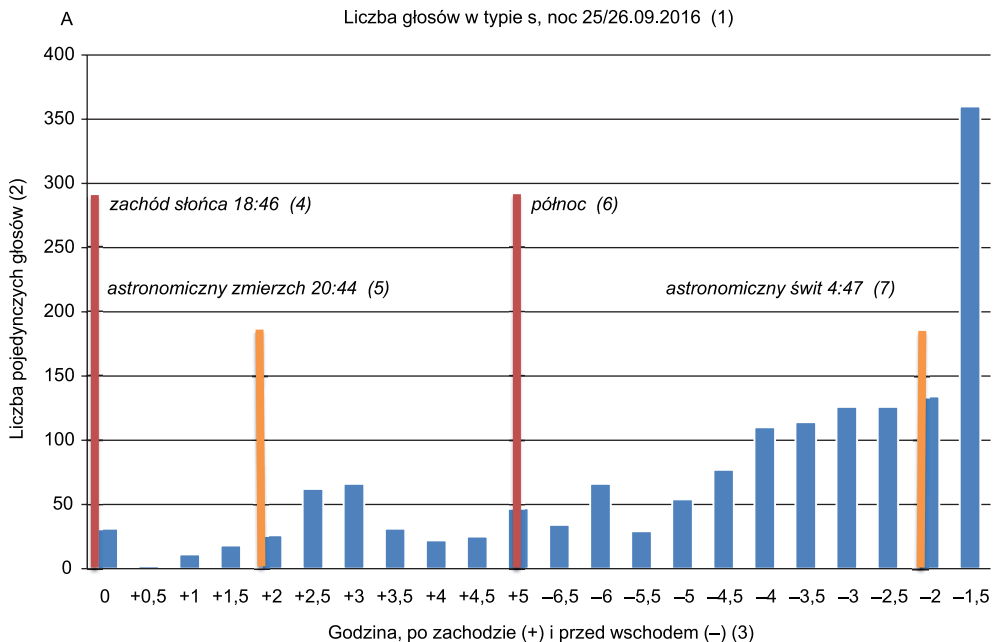
W zależności od warunków atmosferycznych i środowiskowych głosy migrantów mogą być lepiej lub gorzej słyszalne i wykrywalne w nagraniach, a często zdarza się, że warunki uniemożliwiają jakkolwiek ich analizę. Znaczenie ma także pozycja i odległość odzywającego się ptaka w stosunku do mikrofonu, gdyż przy większych odległościach głosy zanikają i są maskowane przez tło. Ponadto, wraz ze wzrostem częstotliwości fali maleje jej długość i zasięg propagacji w powietrzu. Sprawia to, że wyższe częstotliwości i wyższe harmoniczne są bardziej tłumione, przez co głos może brzmieć inaczej niż gdy źródło dźwięku jest blisko mikrofonu (rys. 2).

Analiza manualna długookresowych nagrań jest bardzo czasochłonna. „Przeskanywanie” spektrogramów z jednej wrześniowej nocy, zaznaczenie i opisanie 1771 głosów (tab. 1, rys. 3) wraz z odsłuchaniem niepewnych dźwięków zajęło niemal tyle czasu ile trwało nagranie, tj. ponad 12 godzin. W badaniach, w których porównywano manualne

Tabela 1. Analiza głosów ptaków wróblowych migrujących nocą 25 na 26 września 2016. Sumaryczna liczba zidentyfikowanych głosów dla wybranych gatunków oraz minimalna liczba przelatujących osobników (przy założeniu, że głosy w odstępie >1 min należą do różnych osobników). MIP – minimalna liczba przelatujących osobników

Table 1. Analysis of calls of passerines migrating during the night 25/26 Sept 2016. Sum of identified calls and minimum number of individuals passing are presented (assuming that voices recorded in time interval >1 minute belong to different individuals). (1) – species, (2) – no. of calls, (3) – MIP: minimum number of individuals, (4) – calls in type of Song Thrush or Goldcrest, (5) – Redwing, (6) – Blackbird, (7) – Skylark, (8) – not identified, (9) – total

Gatunek (1)	N głosów (2)	MIP (3)
Głos w typie śpiewaka <i>Turdus philomelos</i> lub <i>Regulus</i> spp. (4)	1571	
Drozdzik <i>Turdus iliacus</i> (5)	24	17
Kos <i>Turdus merula</i> (6)	8	4
Skowronek <i>Alauda arvensis</i> (7)	12	4
Głosy niezidentyfikowane (8)	156	
Suma (9)	1771	



Rys. 3. Analiza głosów ptaków wróblowych migrujących nocą 25/26.09.2016. Wykres przedstawia liczbę pojedynczych głosów w typie s (czyli w typie głosu migrującego śpiewaka *Turdus philomelos*, ale w przypadku niektórych głosów nie można wykluczyć, że był to *Regulus spp.*) – impulsowe dźwięki (10–50 ms) w częstotliwościach 6,5–9 kHz, zsumowane dla 30-minutowych interwałów czasowych. Przeanalizowano nagrania od zmierzchu do 1 godziny przed świtem (trudno było rozróżnić głosy migrujących i żerujących osobników, gdy zaczęła się poranna aktywność innych ptaków)

Fig. 3. Analysis of calls of passerines migrating during the night 25/26 Sept 2016. Bars present the number of s-type calls (Song Thrush type, but in some cases it can belong to *Regulus spp.*) – impulse sounds (10–50 ms), 6.5–9 kHz, summed for every 30 min, from sunset till one hour before sunrise (after it was hard to distinguish between migrating and local active birds). (1) – Number of s-type calls, 25/26.09.2016 night, (2) – number of individual calls, (3) – hour, after sunset (+) and before sunrise (–), (4) – sunset 18:46, (5) – Astronomical sunset 20:44, (6) – midnight, (7) – Astronomical sunrise 4:47

i automatyczne metody wykrywania ptasich głosów (Swiston & Mennil 2009), ręczna ekstrakcja głosów zajęła około 1,5 godziny dla 24 godzin nagrań. Jednak wyszukiwano tylko jeden konkretny typ wokalizacji jednego gatunku i głos ten był o wiele dłuższy, więc poszukiwania głosów prowadzono wyświetlając jednorazowo 75 sekund nagrania. W badaniach akustycznych wiosennego i jesiennego monitoringu nocnych migrantów nad jeziorem Erie w Kanadzie zastosowano 7 mikrofonów ustawionych na palach o wysokości 5,8 m i zebrano > 6200 godzin nagrań (Sanders & Mennill 2014). Analiza automatyczna okazała się nieskuteczna, więc manualną ekstrakcją głosów wykonało w cytowanej pracy 12 osób; nie podano ile czasu zajęły analizy nagrań.

W przypadku następujących po sobie głosów nie wiadomo, czy należą do tego samego osobnika czy do różnych ptaków, nie wiadomo też jak liczne było stado, ile z osobników w stadzie się odżywało. Bez dodatkowych informacji – z radaru, kamery termowizyjnej czy z obserwacji w terenie – nie da się tego stwierdzić. Liczba zarejestrowanych głosów zależy nie tylko od przelatującej liczby osobników, ale też od innych czynników, takich jak: gatunek ptaka, wysokość lotu, obecność sztucznego oświetlenia i przeskód, pułap chmur, warunki atmosferyczne, pora doby, etap okresu migracji, lokalizacja mikro-

fonu. W innych badaniach, niektóre gatunki migrujące nocą, jak np. muchołówka żałobna *Ficedula hypoleuca* i muchołówka szara *Muscicapa striata*, słyszano tylko przy specyficznych warunkach, np. przy słabej widoczności (Farnsworth 2005). W związku z tym ocena intensywności przelotu dla tych gatunków nie może opierać się jedynie na danych akustycznych. Jednakże, dla kilku gatunków wykryto pozytywny związek między sumaryczną liczbą wszystkich zarejestrowanych głosów a liczbą ptaków chwypanych w dzień w sieci ornitologiczne stojące przy mikrofonach (Sanders & Mennill 2014). W analizie nocnej aktywności głosowej nietoperzy, kiedy również nie wiadomo czy nagrane głosy należą do jednego czy do różnych osobników, stosuje się „wskaźnik aktywności” (ang. *activity index*), czyli liczbę zarejestrowanych głosów nietoperzy na godzinę, jako względną miarę liczebności nietoperzy na badanym obszarze (Rodrigues et al. 2008). W literaturze często stosowana jest też względna wartość nazwana minimalną liczbą przelatujących osobników (MIP, ang. *minimum number of individuals passing*) (Evans & Rosenberg 2000), gdzie głosy jednego gatunku występujące w krótkim okresie czasu, np. podczas jednej minuty, uznawane są za odgłosy wydawane przez jednego osobnika. Wartości te podano w tabeli dla trzech mniej licznych gatunków (rys. 3). Kolejnym problemem w automatycznych liczeniach nocnych ptaków wędrownych jest ustalenie ram czasowych, w których powinno odbywać się takie liczenie. Jak rozróżnić czy ptak jest miejscowy, zatrzymał się na odpoczynek, czy też aktywnie migruje? Dodatkowo głosy ptaków migrujących nocą często różnią się od głosów emitowanych przez nie za dnia, ale zdarza się też, że są one identyczne. Wiele prac pokazuje, że szczyt aktywności głosowej nocnych migrantów notuje się w godzinach przed świtem, przy czym u drożdów ta poranna aktywność może sięgać 90% (Farnsworth 2005). W związku z tym niektórzy badacze liczą i nagrywają ptaki całą noc, inni pomijają okres czasu, np. pół godziny przed wschodem, gdy wiele ptaków zaczyna śpiewać i żerować (Murray 2004). W protokole eBird (Iliff et al. 2014), dotyczącym nocnych migracji, ptaki liczy się od astronomicznego zmierzchu do świtu, tj. gdy słońce jest 12° poniżej horyzontu. Dla miesięcy jesiennych w Polsce daje to rozpoczęcie liczenia 1,5–2 h po zachodzie słońca i zakończenie w takim samym czasie przed wschodem.

W niniejszej pracy sprawdzono przydatność dwóch dostępnych programów do automatycznego wykrywania głosów nocnych migrantów i uzyskane wyniki porównano z manualną analizą przeprowadzoną przez autorów tej pracy. Program Kaleidoscope Pro wykrył ponad 2500 głosów w nagraniu z wybranej nocy, które następnie należało przeanalizować i odsłuchać. Program dokonał też wstępnej klasteryzacji głosów na podstawie różnych cech dźwięków. Skuteczność tego grupowania była niewystarczająca, ponieważ niektóre głosy ptaków zostały zgrupowane z głosami owadów i w efekcie konieczna była analiza wszystkich wykrytych dźwięków. Następnie został przetestowany program Tseep-x. Niestety, przez 5 godzin od zachodu słońca odzywały się owady z grupy prostoskrzydłych Orthoptera (np. koniki polne) (rys. 3). Program nie poradził sobie z takimi zakłóceniami, tworząc ponad 4 000 osobnych plików z samymi odgłosami owadów, a pomijając głosy ptaków. Zastosowany w programie Tseep-x algorytm przeciwdziałający tworzeniu setek fałszywych detekcji ptaków był nieskuteczny. W nagraniach z dalszej części nocy Tseep-x również wykrył tylko niewielką część głosów drożdów. Zastosowanie programów automatycznych nie wyekstrahowało skutecznie głosów z nagrań: Kaleidoscope Pro wykrył niewiele ponad połowę głosów śpiewaka i kosa *T. merula* (Tseep-x <30%) oraz mniej niż 30% głosów drożdżika *T. iliacus* (Tseep-x <15%) (tab. 2).

Wyniki porównania obydwu metod wskazują, że analizowany materiał był bardzo trudny do interpretacji przez systemy automatyczne i poradziły one sobie dużo gorzej

Tabela 2. Sumaryczna liczba wykrytych głosów ptaków w nocy z 25/26 września 2016. Porównanie dla trzech typów głosów dla segmentacji manualnej i automatycznej za pomocą dwóch programów do ekstrakcji głosów z nagrań Kaleidoscope Pro i Tseep-x

Table 2. Sum of identified bird calls during the night 25/26 Sept 2016 recording. Comparison of manual method and automatic algorithms implemented in Kaleidoscope Pro and Tseep-x software for three types of calls. (1) – species/call type, (2) – manual segmentation, (3) – automatic segmentation, (4) – calls in type of Song Thrush or Goldcrest, (5) – Redwing, (6) – Blackbird

Gatunek/ typ głosu (1)	Segmentacja manualna (2)	Segmentacja automatyczna (3)	
		Kaleidoscope Pro	Tseep-x
Głos w typie śpiewaka <i>Turdus philomelos</i> lub mysikrólika <i>Regulus</i> spp. (4)	1548	797	448
Drożdżik <i>Turdus iliacus</i> (5)	24	7	3
Kos <i>Turdus merula</i> (6)	8	5	2

nić człowiek dokonujący opisu głosów (porównanie proporcji głosów dla głosów w typie śpiewaka i drożdżika: analiza manualna vs Kaleidoscope Pro: $\chi^2=376$; $P<0,001$; analiza manualna vs Tseep-x: $\chi^2=800$; $P<0,001$). Mimo zastosowania tarczy ekranującej mikrofon od podłoża i odpowiedniego skierowania mikrofonu, odgłosy owadów w pierwszej części nocy spowodowały bardzo dużą liczbę fałszywie pozytywnych detekcji w obu programach. Jest to problem występujący przy nagraniach środowiskowych, rzadko pojawiający się w innych typach nagrań, gdzie jest wykorzystywana automatyczna identyfikacja źródeł dźwięku, np. w czasie rozpoznawania mowy i mówców. Znacznie wyższa efektywność analizy manualnej niż za pomocą programów (tab. 2) wskazuje, że systemy automatyczne wciąż są niedoskonałe i skuteczność wykrywania głosów nocnych migrantów pozostawia wiele do życzenia. Z drugiej strony, zastosowanie programów do automatycznego wykrywania głosów skróciło czterokrotnie przetwarzanie nagrań w stosunku do manualnego zaznaczania głosów. Wskazuje to na potrzebę stworzenia programu opartego o nowe algorytmy, wybrane parametry dźwięku i metody przetwarzania sygnału akustycznego zmierzające do skutecznej i dostosowanej do uwarunkowań europejskich detekcji dźwięków migrujących ptaków. System taki powinien uwzględnić możliwe zakłócenia i pozwalać – w miarę możliwości – na wyeliminowanie ich wpływu na detekcję ptasich głosów.

Podsumowanie

Automatyczna analiza głosów nocnych ptasich migrantów może stać się metodą uzupełniającą badania wędrówek ptaków. Mimo że jest to metoda wybiórcza, gdyż niewielka liczba gatunków odzywa się podczas nocnych migracji, a duża część ptaków może przelatywać za wysoko i poza zasięgiem mikrofonu, może być ona sposobem na zebranie dodatkowych danych o migracjach, których nie udaje się zebrać innymi metodami. Analiza nagrań nocnych migracji znajduje zastosowanie m.in. do:

- 1) porównania intensywności migracji w różnych lokalizacjach, co może prowadzić do ochrony miejsc szczególnie ważnych dla wędrujących ptaków (Sanders & Mennill 2014);
- 2) monitoringu intensywności nocnych migracji na projektowanych farmach wiatrowych. Rejestracja akustyczna nocnych migracji była stosowana jako metoda pomoc-

nicza, np. podczas monitoringu ptaków migrujących przy projektowaniu farmy wiatrowej Bałtyk Środkowy III (DHI 2015);

- 3) wykrywania rzadkich gatunków ptaków na danym obszarze i poznawania ich tras przelotu czy zasięgów. Przykładowo, drugie dla Portugalii stwierdzenie świergotka stepowego *Anthus godlewskii* miało miejsce 12.10.2010 na podstawie identyfikacji głosu z nocnych nagrań (Muchaxo et al. 2011, <https://soundapproach.co.uk/magnus-robb-finds-second-blyths-pipit-for-portugal/>).

Skuteczniejsze metody automatycznej segmentacji i klasyfikacji mogłyby wspomagać obróbkę manualną i tym samym zredukować koszty i czasochłonność badań, a także polepszyć porównywalność uzyskanych wyników. Obecnie nie jest dostępne oprogramowanie dostosowane i spełniające oczekiwania badań prowadzonych nad migracją ptaków na obszarze Polski i Europy. Stworzony zespół osób i podjęta przez autorów problematyka ma na celu opracowanie nowych metod (algorytmów) służących automatycznej detekcji głosów migrantów w omawianym obszarze.

Literatura

- Audacity®. Wersja 2.0.5. <http://audacity.sourceforge.net>.
- Avisoft Bioacoustics. Sound Analysis and Synthesis Software Avisoft-SASLab Pro. Berlin, Germany. <http://www.avisoft.com/soundanalysis.htm>.
- Bergmann H.H., Chappuis C., Dingler K.-H. 2014. Bird sounds in flight. [cd-rom] Musikverlag Edition AMPLE.
- Chappuis C. 1989. Sounds of Migrant and Wintering Birds. [Kasety opublikowane przez autora].
- DHI. 2015. Monitoring przedinwestycyjny ptaków przelatujących nad obszarem morskiej farmy wiatrowej Bałtyk Środkowy III. Raport końcowy z wynikami badań. <http://portalgis.gdansk.rdos.gov.pl/morskafarmawiatrowa-BaltykSrodkowyIII/>. Dostęp 21.11.2016.
- Evans W.R., O'Brien M. 2002. Flight calls of migratory birds: Eastern North American landbirds. [cd-rom] OldBird Inc, USA, Ithaca, New York.
- Evans W.R., Rosenberg K.V. 2000. Acoustic monitoring of night-migrating birds: A progress report. In: Strategies for Bird Conservation: The Partners in Flight Planning Process, pp. 51–159. Proc. of the Third Partners in Flight Workshop (R. Bonney, D.N. Pashley, R.J. Cooper, and L. Niles, eds). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT, USA.
- Farnsworth A. 2005. Flight calls and their value for future ornithological studies and conservation research. *Auk* 122: 733–746.
- liff M., Wood C., Sullivan B., Farnsworth A. 2014. Nocturnal Flight Call Counts Protocol. <http://help.ebird.org/customer/portal/articles/1010492-entering-nocturnal-flight-call-counts>. Dostęp: 22.11.2016.
- Kaleidoscope® Pro. Wildlife Acoustics, Inc., USA. <https://www.wildlifeacoustics.com/products/kaleidoscope-software-acoustic>.
- Muchaxo J., Alfrey P., Costa H., Jara J., Matias R., Moore C.C., Santose J.L., Tipper R. 2011. Portuguese Rarities Committee Report for 2010. *Anuário Ornitológico* 8: 3–52.
- Murray J. 2004 msc. Nocturnal flight call analysis as a method for monitoring density and species composition of migratory songbirds (Order Passeriformes) across southern Vancouver Island, British Columbia in 2004. Manuskrypt.
- Pamuła H. 2016. Monitoring bioakustyczny – badania nad automatycznym rozpoznawaniem głosów ptaków podczas nocnej wędrówki: streszczenie. XXI Konferencja Inżynierii Akustycznej i Biomedycznej, Kraków, 8–10.06.2016, Polskie Towarzystwo Akustyczne. Komitet Akustyki PAN, Kraków.
- Pamuła H., Kłaczyński M. 2016. Monitoring bioakustyczny: cele, metody i problemy związane z automatyczną identyfikacją głosów ptaków. Studium badawcze młodych akustyków, ss. 71–80. Wydawnictwo AGH, Kraków.

- PN-ISO 9613-1:2000. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę.
- PN-ISO 9613-2:2000. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania.
- Raven Pro. Bioacoustics Research Program. 2014. Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.5), Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. <http://www.birds.cornell.edu/raven>.
- Rodrigues L., Bach L., M.-J. Dubourg-Savage, Goodwin J., Harbusch C. 2008. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects. EUROBATS Publication Series No. 3, Bonn, Germany, 16.
- Robb M.S., Hopper N., Morton P. 2016. Nocturnal autumn migration of Ortolan Bunting *Emberiza hortulana* in Dorset, England, and southern Portugal. <https://soundapproach.co.uk/things-go-plik-night-part-one/>. Dostęp 16.11.2016.
- Sanders C.E., Mennill D.J. 2014. Acoustic monitoring of nocturnally migrating birds accurately assesses the timing and magnitude of migration through the Great Lakes. *Condor* 116: 371–383.
- Sound Analysis Pro. 2011.
- SoundID (Australia), <http://www.soundid.net>.
- Swiston K.A., Mennill D.J. 2009. Comparison of manual and automated methods for identifying target sounds in audio recordings of Pileated, Pale-billed, and putative Ivory-billed woodpeckers. *J. Field Ornithol.* 80: 42–50.
- Tchernichovski, O., Nottebohm, F., Ho, C.E., Bijan, P., Mitra, P.P. 2000. A procedure for an automated measurement of song similarity. *Anim. Behav.* 59: 1167–1176.
- Thrush-x. Analysis Software. OldBird Inc, USA, <http://www.oldbird.org/analysis.htm>.
- Tseep-x. Analysis Software. OldBird Inc, USA, <http://www.oldbird.org/analysis.htm>.
- van den Berg A.B., Constantine M., Robb M.S. 2003. Out of the blue: Flight calls of migrants and vagrants. [cd-rom] The Sound Approach/Dutch Birding.
- warbleR: Streamline Bioacoustic Analysis. Araya-Salas, M. Smith-Vidaurre, G. 2017. warbleR: an R package to streamline analysis of animal acoustic signals. *Methods Ecol. Evol.* 8: 184–191.
- XBAT, Extensible Acoustic Analysis, The Cornell Lab of Ornithology, Bioacoustics Research Program.

Hanna Pamuła, Maciej Kłaczyński, Wiesław Wszolek

Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
hanna.pamula@agh.edu.pl
maciej.klaczynski@agh.edu.pl
wieslaw.wszolek@agh.edu.pl

Magdalena Remisiewicz

Stacja Badania Wędrówek Ptaków, Wydział Biologii UG
Wita Stwosza 59, 80-308 Gdańsk
magdalena.remisiewicz@biol.ug.edu.pl