



UNIWERSYTET GDAŃSKI

Katarzyna Niedziela

*Kierunek studiów: **Biologia**
Specjalność: **Ekologia zwierząt**
Numer albumu: 236900*

**Wieloletnie zmiany terminów jesiennej wędrówki mucholówki
szarej przez polskie wybrzeże Bałtyku i ich związek z
temperaturami na lęgowiskach i trasach migracji**

Praca magisterska
wykonana
w Stacji Badania Wędrówek Ptaków
pod kierunkiem
dr hab. Magdaleny Remisiewicz, prof. UG

Gdańsk 2020

Podziękowania

Serdecznie podziękowania dla mojej promotor Pani dr hab. Magdaleny Remisiewicz, Prof. UG za wielką pomoc i wsparcie merytoryczne, cierpliwość, wyrozumiałość, poświęcony czas oraz okazaną życzliwość.

Dziękuję również wszystkim uczestnikom obozów Akcji Bałtyckiej: kierownikom oraz załogantom, za pomoc przy zbieraniu danych, bez których nie powstałaby ta praca oraz Stacji Badania Wędrówek Ptaków, za udostępnienie tych danych.

Dziękuję także przyjaciółom i znajomym, szczególnie Agacie Pinszke za cenne rady i wskazówki oraz Pawłowi Ziółkowskiemu za nieocenione wsparcie, motywację i wiarę we mnie.

Dziękuję również mojej rodzinie za wsparcie i słowa otuchy.

Spis treści

1. Wstęp.....	5
1.1. Globalne ocieplenie a ptaki.....	5
1.2. Obiekt badań.....	8
1.3. Wędrówki muchołówki szarej przez Europę.....	10
1.4. Cele pracy.....	11
2. Teren badań.....	12
3. Materiały i metody.....	13
3.1. Metody pracy terenowej i materiały.....	13
3.2. Metody analizy danych.....	17
3.2.1. Określenie dat percentyli przelotu.....	17
3.2.2. Określenie wartości współczynnika Annual Anomaly (AA).....	18
3.2.3. Analiza podobieństwa terminów przelotu na obu stacjach.....	19
3.2.4. Określenie trendów wieloletnich w terminach jesiennej migracji.....	20
3.2.5. Analiza wpływu temperatur na terminy jesiennej wędrówki.....	20
4. Wyniki.....	21
4.1. Wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji przez stację Bukowo-Kopań.....	21
4.2. Wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji przez stację Mierzeja Wiślana.....	24
4.3. Korelacje terminów jesiennej migracji oraz współczynników Annual Anomaly między stacjami Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana.....	27
4.4. Korelacje terminów oraz współczynników Annual Anomaly dla jesiennej wędrówki przez Bukowo-Kopań z temperaturami na trasach migracji i na lęgowiskach.....	27
4.5. Korelacje terminów oraz współczynników Annual Anomaly dla jesiennej wędrówki przez Mierzeję Wiślaną z temperaturami na trasach migracji i na lęgowiskach.....	30
5. Dyskusja.....	32
5.1. Wieloletnie trendy w terminach jesiennej wędrówki muchołówki szarej przez polskie wybrzeże w porównaniu do innych regionów Europy.....	32
5.2. Porównanie wyników dotyczących muchołówki szarej z innymi migrantami daleko- i średniodystansowymi.....	34
5.3. Porównanie terminów jesiennej wędrówki przez stacje Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana.....	36
5.4. Zmiany z roku na rok w terminach jesiennej wędrówki przez polskie wybrzeże w porównaniu do innych regionów Europy.....	36
5.5. Związek między terminami jesiennej wędrówki przez polskie wybrzeże a temperaturami na lęgowiskach i na trasach jesiennej migracji.....	37
5.6. Związek między terminami jesiennej wędrówki ptaków młodych przez polskie wybrzeże a temperaturami na trasach wiosennej migracji ptaków dorosłych na lęgowiska.....	39
6. Podsumowanie.....	43
7. Bibliografia.....	45
8. Załączniki.....	52

1. Wstęp

1.1. Globalne ocieplenie a ptaki

Postępujące globalne ocieplenie wywiera wpływ na biologię organizmów żywych i ich siedliska (Sparks i Menzel 2002, Parmesan 2006, Wang i inni 2015). Wpływ wzrastających temperatur można zaobserwować m.in. w zmianach w fenologii ptasich wędrówek, szczególnie na półkuli północnej (Sokolov i inni 1999, Cotton 2003, Tøttrup i inni 2006a, 2006b, Gordo 2007, Bussière 2015, Lehikoinen i inni 2019). Zmiany klimatyczne wpływają także na terminy przystąpienia ptaków do lęgów oraz na ich sukces lęgowy, jednak efekty tych zmian różnią się między gatunkami. Przykładowo, w Wielkiej Brytanii zaobserwowano przyspieszenie terminów przystępowania do lęgów, które jednak zaznaczyło się silniej u kapturki *Sylvia atricapilla* niż u pliszki siwej *Motacilla alba* (Crick i Sparks 1999, Dunn 2004). Niektóre z takich zmian są związane prawdopodobnie ze zmianami lokalnych temperatur i siedlisk, i wynikającymi z nich zmianami w diecie, strategiach migracji, rozmiarach i masach ciała, czy w zapotrzebowaniu na zasoby wymagane do lęgów przez ptaki (Dunn 2004, Both i inni 2009, Mason i inni 2019).

Sezonowe migracje są ważnym elementem cyklu życiowego wędrownych ptaków (Newton 2008). Główną przyczyną wędrówek ptaków gniazdujących w strefach o silnie zaznaczonej sezonowości środowiska, są zmiany temperatury i długości dnia, co powoduje zmniejszanie się dostępnych zasobów pożywienia i skrócenie czasu na żerowanie, przy wzroście wydatków energetycznych na termoregulację i znajdowanie pokarmu (van de Kam i inni 2004, Newton 2008, Carey 2009). Zmiany klimatu stwarzają ryzyko rozbieżności terminów wędrówek ptaków z sezonowymi warunkami środowiska na zimowiskach lub lęgowiskach, czyli tak zwane „ekologiczne niedopasowanie” (Carey 2009, Saino i inni 2011, Franks i inni 2018). Konsekwencją może być rozminięcie się terminów zimowania ptaków z obfitością pokarmu na lęgowiskach, z powodu przyspieszenia terminów wiosennej migracji (Newton 2008, Saino i inni 2011). Skutkiem może być również rozminięcie się okresu wzrostu piskląt ze szczytem obfitości pokarmu, z powodu przyspieszenia terminów składania jaj (Halupka i Halupka 2017), np. u muchołówki żałobnej *Ficedula hypoleuca* (Both i Visser 2001, Both i inni 2006, Ouwehand i Both 2017). Niezgodności fenologii etapów życia ptaków z zasobami środowiska, wynikające ze zmian klimatu, w tym ze wzrostu temperatur, mogą być jedną z przyczyn spadkowych trendów populacji ptaków (Both i inni 2006, Møller i inni 2008, Saino i inni 2011,

Vickery i inni 2014, Mason i inni 2019). W ciągu ostatnich dziesięcioleci u wielu migrantów z półkuli północnej nastąpiły zmiany terminów zarówno wiosennych, jak i jesiennych wędrówek w odpowiedzi na zmiany klimatu. Zmiany terminów przelotu ptaków mogą mieć związek ze wzrostem lokalnych temperatur, a także ze zmianami układów klimatycznych, na przykład Oscylacji Północnego Atlantyku (NAO) na trasach migracji i lęgowiskach (Sokolov i inni 1999, Both i inni 2004, Hüppop i Winkel 2006, van Buskirk i inni 2009).

W ciągu ostatnich dziesięcioleci nastąpiło przyspieszenie terminów wiosennej migracji przez Europę zarówno wśród migrantów krótko- i dalekodystansowych (Tøttrup i inni 2006b, Lehikoinen i inni 2019). Jednak zakres zmian w terminach przelotów różni się między gatunkami ptaków o różnej strategii migracji (Tøttrup i inni 2006b). Tendencja do wcześniejszych powrotów na lęgowiska silniej zaznaczyła się wśród migrantów krótkodystansowych, takich jak kopciuszek *Phoenicurus ochruros*, pliszka siwa, kos *Turdus merula*, mysikrólik *Regulus regulus*, a słabiej lub wcale u migrantów dalekodystansowych, jak muchołówka szara *Muscicapa striata*, zaganiacz *Hippolais icterina*, trzcinniczek *Acrocephalus scirpaceus*, gąsiorek *Lanius collurio* (Tryjanowski i inni 2002, Tøttrup i inni 2006b, Lehikoinen i inni 2019). Długość okresu wiosennych migracji wzrosła wraz ze wzrostem temperatur, ponieważ wędrówka wielu gatunków rozpoczyna się coraz wcześniej (Lehikoinen i inni 2019). Prawdopodobnie reakcja na ocieplenie klimatu na lęgowiskach zależy od dystansu migracji (Jenni i Kéry 2003). Migranty krótkodystansowe mogą łatwiej przewidzieć warunki na lęgowiskach niż migranty dalekodystansowe, ponieważ ich zimowiska są bliżej obszarów lęgowych, a więc na przykład ciepła wiosna na zimowiskach może wskazywać, że podobnie będzie na lęgowiskach (Newton 2008). Migranty krótkodystansowe potrzebują też krótszego czasu na pokonanie trasy na lęgowiska, mają również krótszy łączny czas postojów w trakcie migracji (ang. „stop-over durations”), co prawdopodobnie pozwala tym ptakom na większą plastyczność wędrówki, co ułatwia zaadaptowanie się do zmian klimatu (Schmaljohann i Both 2017, Usui i inni 2017). Sygnały środowiskowe, którymi migranty dalekodystansowe mogą posługiwać się jako wskazówkami do rozpoczęcia wiosennej wędrówki z Afryki (np. fotoperiod), niezbyt dobrze odzwierciedlają aktualne warunki na obszarach lęgowych, co może utrudniać tym migrantom adaptację do zmian klimatu na lęgowiskach (Hüppop i Winkel 2006, Halupka i Halupka 2017).

Wzrost temperatur wiosną, na skutek ocieplenia klimatu, może nie wpływać na przyspieszenie w terminach przylotu na lęgowiska, ale wpływa na przyspieszenie terminów zniesienia jaj w sezonie lęgowym wśród migrantów dalekodystansowych, np. u muchołówki żałobnej (Both i Visser 2001, Both i inni 2004, Dunn 2004, Tomotani i inni 2018). Jest to wynikiem skrócenia czasu między przybyciem na lęgowiska a okresem lęgowym, oraz między okresem lęgowym a pierzeniem (Tomotani i inni 2018). Terminy wiosennego przylotu muchołówki żałobnej na lęgowiska mogą być zależne od warunków pogodowych na zimowiskach (Ouwehand i Both 2017) oraz od temperatur na trasach migracji (Hüppop i Winkel 2006).

Zmiany fenologii, które miały miejsce wiosną mogą wpływać na zmiany jesiennych terminów migracji, przez co ich połączony wpływ może zaburzać roczną fenologię ptaków (van Buskirk i inni 2009). W ciągu kilku ostatnich dziesięcioleci wśród ptaków wróblowych u większości gatunków migrantów dalekodystansowych nastąpiło przyspieszenie terminów jesiennych wędrówek, a wśród migrantów krótkodystansowych – opóźnienie (Jenni i Kéry 2003). Terminy rozpoczęcia wędrówki jesiennej mogą być skorelowane z terminami składania jaj (Tomotani i inni 2018) i związane z liczbą lęgów w sezonie letnim (Halupka i Halupka 2017). Na półkuli północnej ptaki przystępujące do lęgów kilkakrotnie w sezonie wydłużyły swój okres lęgowy średnio o 4 dni na dekadę w ciągu 45 lat, natomiast gatunki składające jaja tylko raz w sezonie skróciły okres lęgowy średnio o 2 dni (Halupka i Halupka 2017). W efekcie gatunki przystępujące do kilku lęgów w roku wykazują opóźnienie jesiennego przelotu, związane z wydłużeniem okresu lęgowego, co zwiększa możliwości przystąpienia do kolejnych lęgów (Jenni i Kéry 2003, Halupka i Halupka 2017). Większość migrantów krótkodystansowych to gatunki z tendencją do kilku lęgów w sezonie, stąd opóźnienie terminów jesiennego przelotu w tej grupie ptaków (Jenni i Kéry 2003, Halupka i Halupka 2017). Gatunki wykazujące możliwość przystąpienia do lęgów kilkakrotnie w ciągu roku (np. śpiewak *Turdus philomelos*), mogą charakteryzować się większą plastycznością liczby lęgów i terminów odlotu z lęgowisk od gatunków przystępujących do lęgów tylko raz w sezonie, jak na przykład gajówka *Sylvia borin* (Halupka i Halupka 2017, Redlisiak i inni 2018, Pinszke 2019). Taka plastyczność może ułatwiać niektórym gatunkom dobre dostosowanie się do zmian klimatu, które obejmują nie tylko ogólne ocieplenie, ale także częstsze anomalie pogodowe (Gładalski i inni 2014, Redlisiak i inni 2018). Celem tej pracy jest zbadanie, czy temperatury na trasach wiosennej wędrówki, lęgowiskach i na

trasach jesiennej migracji mają wpływ na wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji muchołówki szarej przez polskie wybrzeże Bałtyku.

1.2. Obiekt badań

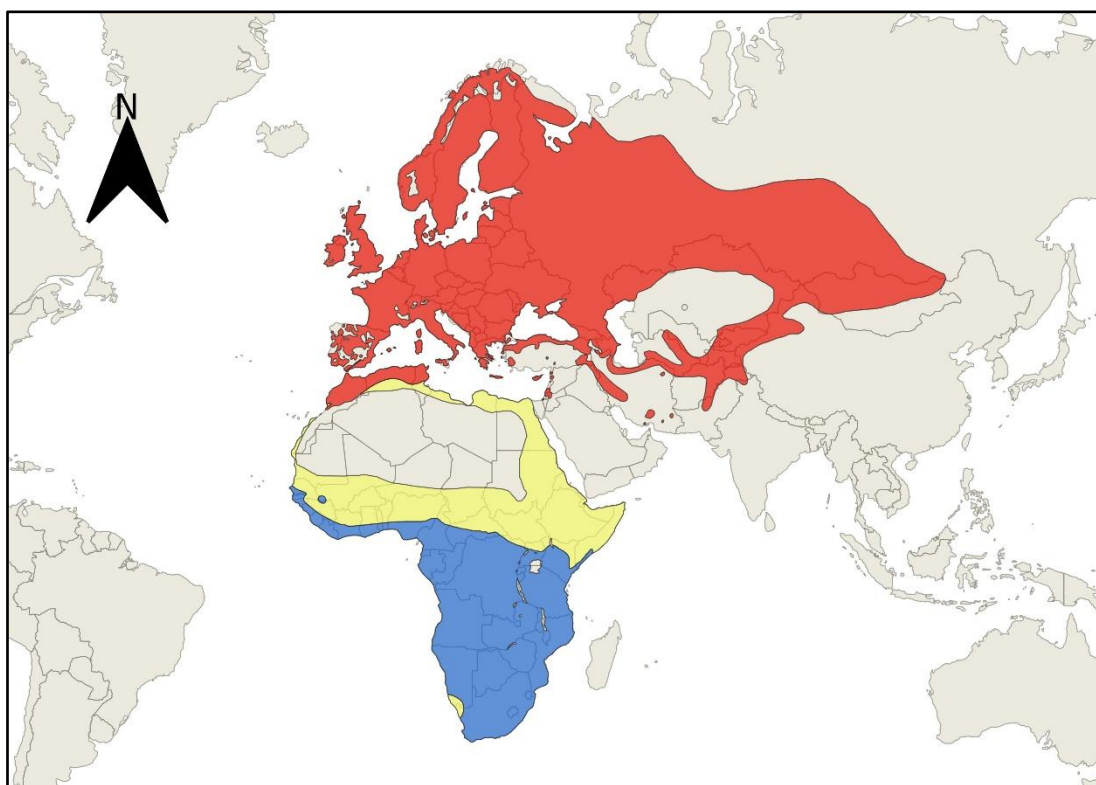
Muchołówka szara *Muscicapa striata* (Ryc. 1) to mały ptak z rzędu wróblowych *Passeriformes*, z rodziny muchołówkowatych *Muscicapidae* (Svensson 1992). Gatunek ten ma status LC (najmniejszej troski) w Czerwonej Księdze Gatunków Zagrożonych IUCN (iucnredlist.org 2018). W Polsce liczebność populacji lęgowej szacuje się na 210-380 tys. par (Chylarecki i inni 2018). Trendy liczebności w ciągu ostatnich 18 lat wykazują umiarkowany spadek (Chodkiewicz i inni 2018). Przyczyny tego spadku liczebności nie są dobrze poznane. Prawdopodobnie mają na to wpływ niekorzystne warunki pogodowe i pokarmowe na trasach wędrówek oraz na zimowiskach, co może skutkować m.in. zwiększoną śmiertelnością (Chylarecki i inni 2018). Środowiskiem występowania muchołówki szarej są głównie przerzedzone stare drzewostany, oraz przejrzyste nadrzeczne i liściaste lasy. Można ją również obserwować w lukach każdego rodzaju lasów, w zadrzewieniach śródpolnych, parkach, ogrodach oraz pośród zabudowy wiejskiej i podmiejskiej (Tomiałojć i Stawarczyk 2003).

Muchołówka szara jest gatunkiem lęgowym w niemal całej Europie, północno-zachodnim wybrzeżu Afryki i w zachodniej Azji (Ryc. 2). Okres lęgowy w Europie środkowej i północnej trwa od czerwca do początku sierpnia (Ryc. 3, Cramp i inni 1993). Muchołówki szare przystępują do lęgów z reguły raz w sezonie, jedynie w populacjach z południowej części zasięgu mają do dwóch lęgów (Cramp i inni 1993).

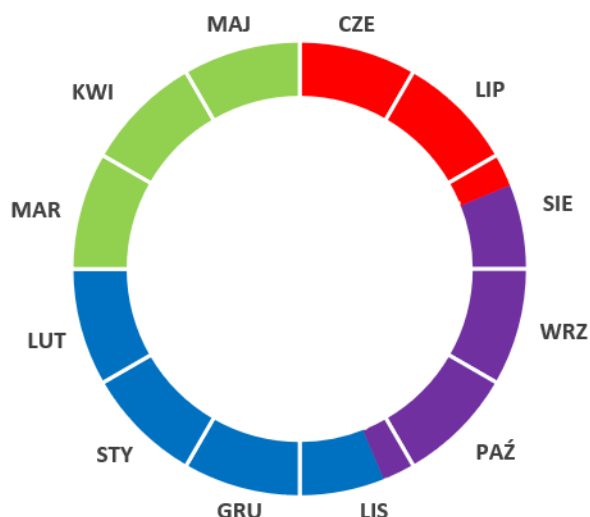
Gatunek ten należy do migrantów dalekodystansowych, zimuje w całej Afryce na południe od Sahary (Ryc. 2). Jesienna migracja przez Europę trwa od sierpnia do października, a pobyt na zimowiskach od listopada do lutego (Cramp i inni 1993). Muchołówki szare odlatują z zimowisk pod koniec lutego lub na początku marca, a wiosenna migracja trwa od marca do końca maja (Ryc. 3). Przez Europę środkową i północną muchołówki szare wędrują od początku kwietnia do końca maja (Ryc. 3, Cramp i inni 1993).



Ryc. 1. Mucholówka szara (fot. M. Mecnarowski,
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muscicapa_striata_1_\(Martin_Mecnarowski\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Muscicapa_striata_1_(Martin_Mecnarowski).jpg)).



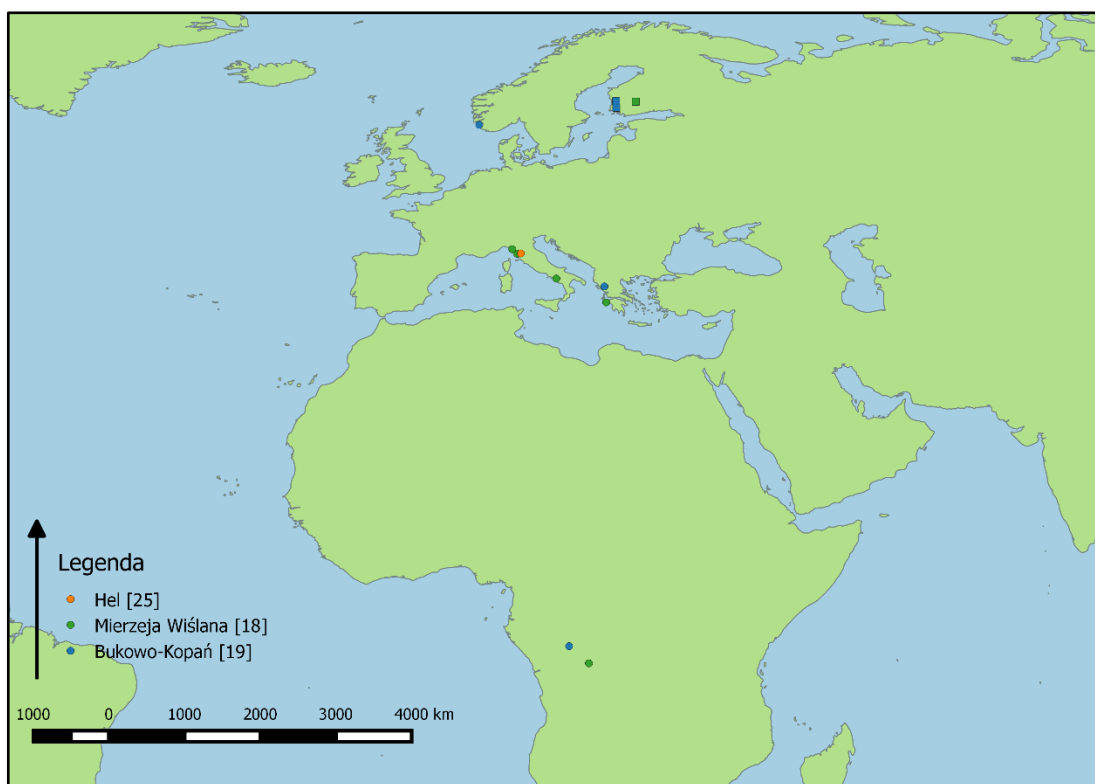
Ryc. 2. Zasięg występowania mucholówki szarej. Czerwony kolor – lęgowiska, żółty – obszary przelotu, niebieski – zimowiska. (<http://datazone.birdlife.org/species/factsheet/spotted-flycatcher-muscicapa-striata/distribution>, 2019, zmienione).



Ryc. 3. Terminy kolejnych etapów życiowych muchołówki szarej w ciągu roku. Czerwony – okres lęgowy, fioletowy – wędrówka jesienna, niebieski – zimowanie, zielony – wędrówka wiosenna (za Cramp i inni 1993, zmienione).

1.3. Wędrówki muchołówki szarej przez Europę

Muchołówki szare z Europy środkowej i Fennoskandii wędrują na południe i południowy-zachód, przez Półwysep Iberyjski i Półwysep Apeniński, oraz na południowy-wschód, przez Bałkany i Bliski Wschód, na zimowiska w Afryce subsaharyjskiej (Cramp i inni 1993, Fransson i Hall-Karlsson 2008, Valkama i inni 2014, Bairlein i inni 2014). Program badawczy Akcja Bałtycka, trwający od 1960 roku do chwili obecnej, umożliwił uzyskanie wiadomości powrotnych wskazujących na pochodzenie wielu gatunków ptaków migrujących przez południowe wybrzeże Bałtyku (Maciąg i inni 2017). Muchołówki szare obrączkowane na polskim wybrzeżu w trakcie Akcji Bałtyckiej pochodzą głównie z lęgowisk w Finlandii oraz prawdopodobnie w Norwegii i w Szwecji (Ryc. 4, Maciąg i inni 2017). Dalsze wędrówki tych populacji jesienią odbywają się w kierunku południowo-zachodnim, przez Półwysep Apeniński, oraz południowo-wschodnim, przez Bałkany, a najdalsze stwierdzenia zimowe pochodzą z Kongo (Ryc. 4, Maciąg i inni 2017). Wiadomości powrotne o muchołówkach szarych obrączkowanych w innych krajach nadbałtyckich wskazują, że ptaki te wędrują na zimowiska w Afryce zachodniej, środkowej i południowej (Ryc. 2, Fransson i Hall-Karlsson 2008, Valkama i inni 2014, Bairlein i inni 2014). Można więc przypuszczać, że muchołówki szare wędrujące przez polskie wybrzeże również docierają na wszystkie te zimowiska.



Ryc. 4. Mapa wiadomości powrotnych muchołówek szarych zaobraczkowanych w trakcie Akcji Bałtyckiej (AB) w latach 1960-2015. Nawiasy kwadratowe – liczba wiadomości powrotnych o ptakach zaobraczkowanych lub stwierdzonych na danej stacji AB. Kwadraty – stwierdzenia w sezonie lęgowym (<http://www.sbwp.ug.edu.pl/badania/monitoringwyniki/mapy/>, 2019; Maciąg i inni 2017).

1.4. Cele pracy

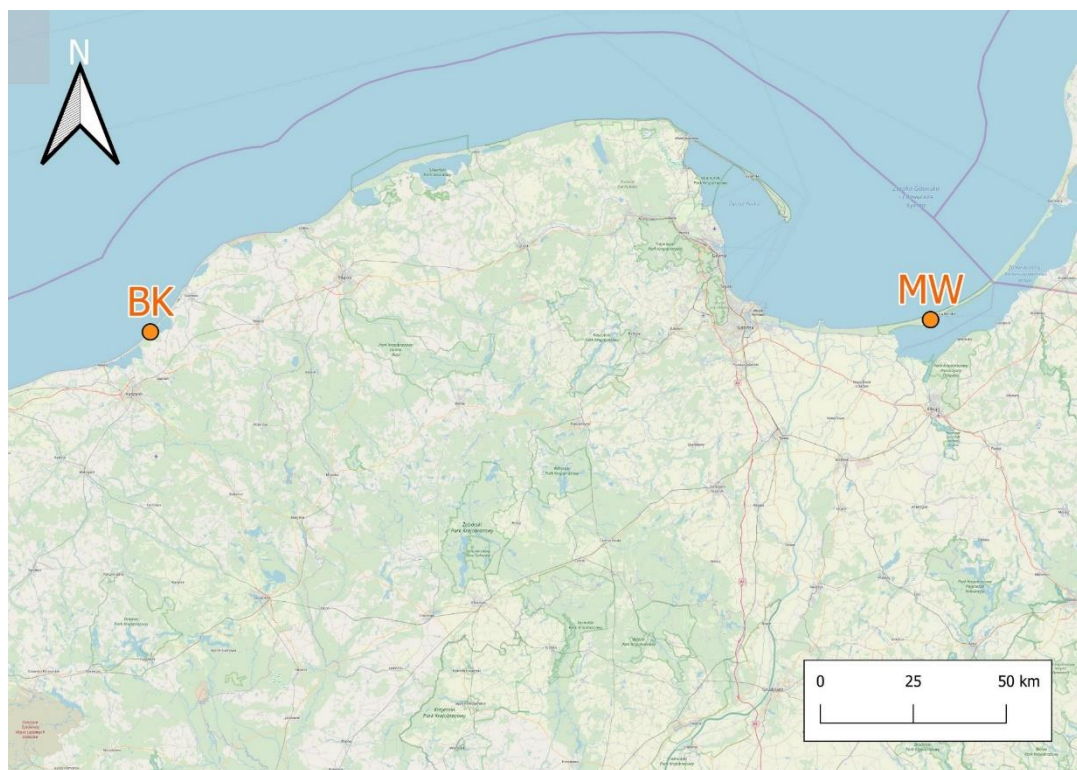
Materiały Akcji Bałtyckiej, zbierane od 60 lat w standardowy sposób, stwarzają możliwość określenia długoterminowych trendów oraz zmian z roku na rok w terminach jesiennej migracji młodych muchołówek szarych. Cele tej pracy, wykorzystującej dane Akcji Bałtyckiej, to:

1. Stwierdzenie czy w latach 1965-2018 wystąpiły wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji młodych muchołówek szarych przez polskie wybrzeże Bałtyku.
2. Określenie zmian z roku na rok w terminach przelotu muchołówki szarej przez polskie wybrzeże Bałtyku w latach 1965-2018.
3. Stwierdzenie czy terminy jesiennej migracji młodych osobników tego gatunku przez polskie wybrzeże Bałtyku mają związek z temperaturami na lęgowiskach i trasach wiosennej migracji poprzedzającej lęgi.

2. Teren badań

Dane o jesiennej wędrówce muchołówki szarej zbierano w dwóch stacjach obrączkowania ptaków Akcji Bałtyckiej: Bukowo-Kopań ($54^{\circ}20'13''\text{N}$, $16^{\circ}14'36''\text{E}$) i Mierzeja Wiśłana ($54^{\circ}21'57''\text{N}$, $19^{\circ}23'30''\text{E}$) (Ryc. 5). Stacja Bukowo-Kopań od strony morza obejmuje częściowo sztucznie usypany wał wydmy porośnięty m.in. młodnikiem sosnowym, wierzbami, tarniną, różą pomarszczoną oraz roślinnością charakterystyczną dla wydmy białej, a od strony jeziora charakteryzuje się występowaniem żyznego łągu olszowo-jesionowego, graniczącego z trzcinowiskiem (Maciąg i inni 2017). Siedlisko w obrębie stacji Mierzeja Wiśłana charakteryzuje się występowaniem boru sosnowego. Od strony Zalewu Wiślanego znajdują się zakrzaczenia z elementami olsu, a brzeg zalewu jest porośnięty trzcinowiskiem (Maciąg i inni 2017).

Obie stacje w latach badań 1965-2018 zmieniały swoje położenie w niewielkim stopniu, w obrębie 5-20 km, w podobnych siedliskach nadmorskich. Dlatego dane z wszystkich lokalizacji chwytania dla danej stacji były traktowane łącznie. Ostatnie zmiany lokalizacji stacji Bukowo-Kopań zaszły w roku 2011, a stacji Mierzeja Wiśłana w roku 2006, i w tych miejscach aktualnie prowadzone są badania (akbalt.ug.edu.pl 2019).



Ryc. 5. Lokalizacja stacji obrączkowania ptaków Akcji Bałtyckiej wykorzystanych w pracy. BK – Bukowo-Kopań, MW – Mierzeja Wiśłana (OpenStreetMaps, zmienione w QGIS 3.4).

3. Materiały i metody

3.1. Metody pracy terenowej i materiały

Dane wykorzystane w tej pracy magisterskiej zostały zebrane w trakcie prac terenowych Akcji Bałtyckiej w stacjach obrączkowania ptaków Bukowo-Kopań oraz Mierzeja Wiślana. W tych pracach uczestniczyłam w latach 2016-2019. Okres badań obejmował sezony wędrówki jesiennej w latach 1965-2018. Dane były zbierane na obu stacjach w większości lat od 14 sierpnia do 1 listopada. Najwcześniejsze stwierdzenie muchołówki szarej było 12 sierpnia, a najpóźniejsze 11 października. Dlatego za okres standardowy, w którym analizowano wędrówki muchołówki szarej w tej pracy przyjęto okres 14 sierpnia-15 października. Ten okres badań obejmował niemal cały okres wędrówki tego gatunku przez polskie wybrzeże.

Ptaki, w tym muchołówki szare, na obu stacjach były chwytywane w sieci ornitologiczne, rozmieszczone w różnych siedliskach nadmorskich. W okresie badań na każdej stacji liczba sieci używana w danym sezonie wynosiła od 25 do 89 (średnio 52 sieci). Natomiast liczba sieci używanych w obrębie danego sezonu badań nie zmieniała się. Kontrole sieci ornitologicznych w okresie badań odbywały się codziennie, od wschodu do zachodu słońca, co godzinę. W razie niekorzystnych warunków pogodowych, kontrole sieci prowadzono częściej w trosce o bezpieczeństwo ptaków (Busse i Meissner 2015).

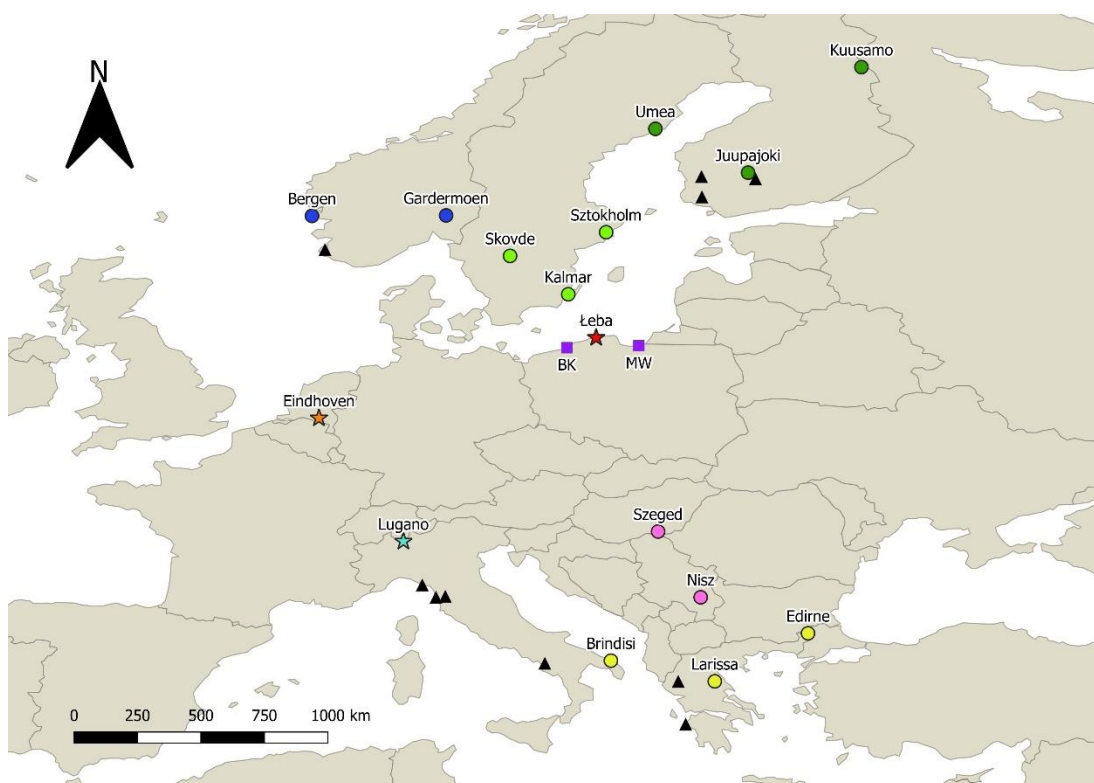
Każdy schwytyany ptak był obrączkowany oraz ważony i mierzony według standardu metodycznego Akcji Bałtyckiej (Busse i Meissner 2015). U muchołówek szarych określano wiek osobnika jako „młody” (w pierwszym roku życia) lub „dorosły” (starszy niż rok), według cech upierzenia (Svensson 1992, Demongin 2016). Informacje te zapisywano do zeszytów, z których później zostały one przeniesione do komputerowej bazy danych, przechowywanej w Stacji Badania Wędrówek Ptaków UG. Dane te pozwoliły określić terminy jesiennej migracji muchołówki szarej w latach 1965-2018 na polskim wybrzeżu Morza Bałtyckiego. W pracy magisterskiej wykorzystano tylko dane dotyczące osobników młodych, ze względu na niewielką liczbę schwytyanych osobników dorosłych, zbyt małą do analiz. Wykorzystano tylko dane o pierwszym schwytaniu danego osobnika w sezonie, z pominięciem danych o ponownych schwytaniach tych samych osobników (tzw. retrapów).

W pracy wykorzystano dzienne sumy liczebności młodych muchołówek szarych w kolejnych dniach okresu standardowego jesiennych prac terenowych. Z analiz wykluczono lata, w których łączna liczba młodych muchołówek szarych schwytanych w danej stacji wynosiła mniej niż 10 (Tab. 1).

Tabela 1. Sumy liczebności młodych muchołówek szarych schwytanych na stacjach obrączkowania Bukowo-Kopań (BK) oraz Mierzeja Wiślana (MW) w kolejnych latach. Czarny – lata w których schwytano mniej niż 10 osobników w danym sezonie, wyłączone z analiz dla danej stacji.

Rok	BK	MW	Rok	BK	MW	Rok	BK	MW
1965		289	1983	33		2001	62	21
1966	24	155	1984	16		2002	27	22
1967	60	120	1985			2003	37	
1968	41	125	1986	11		2004	28	
1969	15	94	1987			2005	43	23
1970		78	1988	17	11	2006	41	13
1971	27	260	1989	14		2007	44	12
1972	34	201	1990	47	18	2008	44	33
1973	22	67	1991	20		2009	30	
1974	43	40	1992			2010	38	36
1975	13	17	1993	59	45	2011		
1976	11	15	1994	50		2012	19	13
1977	13	25	1995	25	21	2013	33	23
1978	20	29	1996	39	43	2014	38	17
1979	26	11	1997	37		2015	19	41
1980	30	21	1998	51	11	2016	10	12
1981	71	58	1999	33		2017	40	44
1982	24		2000	19	17	2018	10	
						Razem	1508	2081
						Suma	3589	

Do określenia wpływu temperatur na terminy jesiennej migracji muchołówki szarej, wykorzystano dane dotyczące średnich temperatur wybranych miesięcy udostępnione przez European Climate Assessment & Dataset (ecad.eu, 2019), ze stacji meteorologicznych, znajdujących się na lęgowiskach oraz trasach przelotu wiosennego i jesienno (Ryc. 6). Stacje te wybrano na podstawie wiadomości powrotnych o muchołówkach szarych, zaobserwowanych lub stwierdzonych w stacjach Akcji Bałtyckiej (Ryc. 4, Maciąg i inni 2017). Do analiz połączono serie danych z dwóch lub trzech blisko siebie położonych stacji meteorologicznych, w których temperatury były skorelowane (współczynnik korelacji Pearsona), uśredniając temperatury danego miesiąca dla tych stacji (Tab. 2, Tab. Z1, Z2, Z3), podobnie jak Redlisiak i inni (2018). Dla regionów stacji meteorologicznych BG, KSS i JKU (Tab. 2), położonych na północ od stacji Akcji Bałtyckiej, wybrano miesiące odpowiadające okresowi lęgowemu oraz okresowi jesiennej migracji muchołówki szarej (Ryc. 3, Tab. 3). Dla regionów stacji meteorologicznych SN i BLE (Tab. 2) oraz dla stacji meteorologicznych traktowanych pojedynczo (Łeba, Eidhoven, Lugano), położonych na południe od stacji Akcji Bałtyckiej i w ich pobliżu, wybrano miesiące odpowiadające okresowi wiosennej migracji muchołówki szarej (Ryc. 3, Tab. 3).



Ryc. 6. Lokalizacja stacji obrączkowania ptaków Akcji Bałtyckiej, wiadomości powrotnych o schwytanych w nich muchołówkach szarych oraz stacji meteorologicznych na lęgowiskach i na trasach wiosennego przelotu wykorzystanych w pracy (mapa QGIS 3.4). Fioletowe kwadraty – stacje Akcji Bałtyckiej: Bukowo-Kopań (BK) i Mierzeja Wiślana (MW), czarne trójkąty – wiadomości powrotne (za Maciąg i inni 2017), gwiazdki – stacje meteorologiczne traktowane pojedynczo, kółka – stacje meteorologiczne połączone w regiony (według kolorów kółek, jak w Tab. 2).

Tabela 2. Stacje meteorologiczne (Ryc. 6), z których dane połączono w regiony i skróty tych regionów używane w pracy.

Stacje	Skrót
Bergen, Gardermoen	BG
Kalmar, Sztokholm, Skovde	KSS
Juupajoki, Kuusamo, Umea	JKU
Szeged, Nisz	SN
Brindisi, Larissa, Edirne	BLE

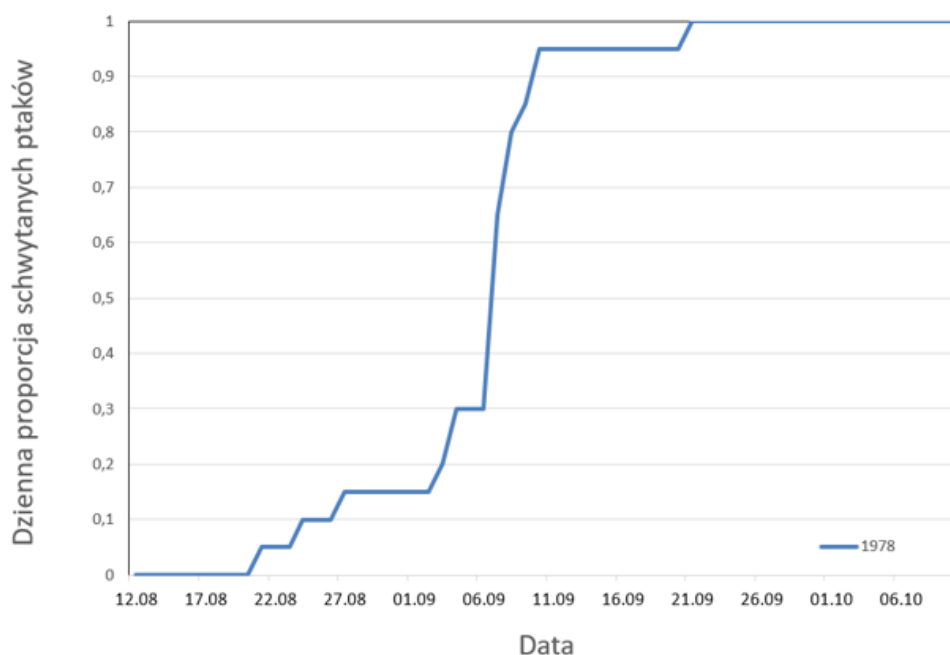
Tabela 3. Stacje meteorologiczne traktowane pojedynczo i stacje meteorologiczne połączone w regiony na trasach wiosennej i jesiennej migracji oraz na obszarach lęgów muchołówki szarej, z których wykorzystano średnie miesięczne temperatury.

Miejsca (miesiące)	Stacje meteorologiczne traktowane pojedynczo i stacje meteorologiczne połączone w regiony (Kraj i region)
Trasy wiosennej migracji (kwiecień-maj)	Łeba (Polska)
	Eindhoven (Holandia)
	Lugano (Szwajcaria)
	SN (Węgry, Serbia)
	BLE (Włochy, Grecja, Turcja)
Lęgowiska (czerwiec-lipiec)	BG (Norwegia)
Trasy jesiennej migracji (sierpień-październik)	KSS (płd. Szwecja)
	JKU (Finlandia, płn. Szwecja)

3.2. Metody analizy danych

3.2.1. Określenie dat percentyli przelotu

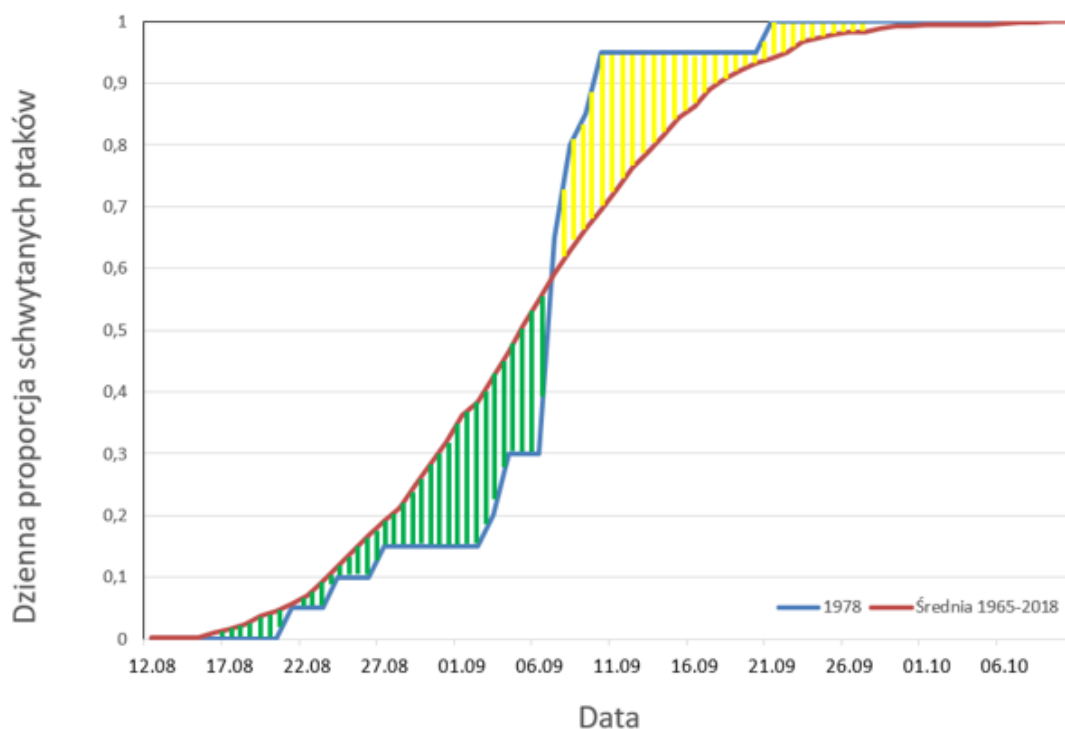
W celu wyznaczenia wieloletnich terminów jesiennej migracji muchołówki szarej, na początku przypisano numery dni do kolejnych dat jesiennego sezonu badań, od 14 sierpnia do 15 października. 1 sierpnia został przyjęty jako dzień 1. Wykorzystując kumulacyjne sumy liczebności młodych muchołówek szarych w kolejnych dniach okresu standardowego (Ryc. 7), wyznaczono dni, w których przypadały percentyle przelotu pierwszych 10%, 25%, 50%, 75% i 90% łącznej sumy osobników schwytanych na danej stacji obrączkowania w danym roku. Następnie przygotowano wykresy dat poszczególnych percentyli przelotu w okresie 1965-2018, dla każdej stacji osobno, w programie Microsoft Excel 2016. Określono również długość przelotu, liczoną według liczby dni w zakresie od 10% przelotu do 90% przelotu młodych muchołówek szarych, dla danej stacji obrączkowania.



Ryc. 7. Krzywa kumulacyjna dziennych liczebności schwytych osobników przedstawionych jako proporcja (percentyle) w stosunku do łącznej liczebności mucholówki szarej w roku 1978 na stacji Bukowo-Kopań.

3.2.2. Określenie wartości współczynnika Annual Anomaly (AA)

Wyznaczono także współczynniki anomalii (AA) przelotu w danym roku na danej stacji, w stosunku do średniego przebiegu przelotu w okresie 1965-2018 (Remisiewicz i Underhill 2020). Wartość współczynnika AA dla danego roku oznaczała sumę różnic między wartością z krzywej kumulacyjnej przelotu w tym roku a średnią wieloletnią w kolejnych dniach okresu standardowego (Ryc. 8). Ujemne współczynniki AA w danym roku oznaczały wcześniejszy przelot, zaś dodatnie – późniejszy przelot, w stosunku do średniej wieloletniej.



Ryc. 8. Krzywa kumulacyjna dziennych liczebności schwytych osobników przedstawionych jako proporcja (percentyle) w stosunku do łącznej liczebności mucholówki szarej w roku 1978 (niebieska linia) oraz średnia wieloletnia 1965-2018 na stacji Bukowo-Kopań (czerwona linia). Obszar zakreskowany na zielono – część przelotu w 1978 roku późniejsza niż średnia wieloletnia (wartości dodatnie), obszar zakreskowany na żółto – część przelotu w 1978 wcześniejsza niż średnia wieloletnia (wartości ujemne). Suma wartości dziennych różnic między tymi krzywymi daje współczynnik AA dla roku 1978.

3.2.3. Analiza podobieństwa terminów przelotu na obu stacjach

W celu określenia, czy w kolejnych latach terminy jesiennej migracji były zgodne na obu stacjach, serie dni, w których przypadały poszczególne percentyle przelotu oraz współczynniki AA skorelowano między stacjami obrączkowania ptaków w tych latach z okresu 1965-2018, w których do analizy włączone obie stacje (Tab. 1). Korelacje wykonano w programie Statistica 13.3 (StatSoft, Inc. 2017), wykorzystując współczynnik korelacji Pearsona.

3.2.4. Określenie trendów wieloletnich w terminach jesiennej migracji

Aby sprawdzić, czy wystąpiły wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji, dla każdej stacji wyznaczono trendy wieloletnie dla poszczególnych dat percentyli oraz trendy współczynnika AA (Remisiewicz i Underhill 2020), za pomocą regresji liniowej. W celu sprawdzenia, czy uzyskane trendy mają charakter prostoliniowy czy krzywoliniowy wykorzystano uogólnione modele addytywne (GAM), korzystając z pakietu *mgcv* 1.8-22 (Wood 2017) w programie R 3.6.1 (R Core Development Team 2019) oraz RStudio 1.2.5033 (RStudio, Inc. 2019).

3.2.5. Analiza wpływu temperatur na terminy jesiennej wędrówki

Wartości średnich dziennych temperatur dla każdej ze stacji meteorologicznej uśredniono do średnich miesięcznych temperatur. Jako wieloletnie serie danych o średnich miesięcznych temperaturach wykorzystano temperatury uśrednione w danym miesiącu dla wyróżnionych regionów stacji meteorologicznych lub średnie miesięczne temperatury ze stacji traktowanych pojedynczo (Ryc. 6, Tab. 2, 3). W celu określenia wpływu temperatur na zmiany z roku na rok w terminach jesiennej migracji dla każdej stacji obrączkowania, skorelowano daty (jako numery dni od 1 sierpnia) dla każdego z analizowanych percentyli przelotu, oraz wartości AA, ze średnimi miesięcznymi z wybranych stacji meteorologicznych w latach 1965-2018, wykorzystując współczynnik korelacji Pearsona w programie Statistica 13.3 (StatSoft, Inc. 2017).

Aby określić wpływ temperatur na lęgowiskach i na trasach migracji jesiennej na terminy wędrówki młodych muchołówek szarych jesienią przez polskie wybrzeże Bałtyku, wykorzystano średnie miesięczne temperatury z okresów czerwiec-lipiec oraz sierpień-wrzesień z regionów stacji meteorologicznych BG, KSS i JKU (Tab. 3).

W celu określenia wpływu temperatur na trasach migracji wiosennej muchołówek szarych w kierunku lęgowisk na terminy jesiennej wędrówki ich potomstwa przez polskie wybrzeże Bałtyku, wykorzystano średnie temperatury z miesięcy kwiecień-maj ze stacji Łeba, Eindhoven i Lugano traktowanych pojedynczo oraz z regionów stacji meteorologicznych SN i BLE (Tab. 3).

4. Wyniki

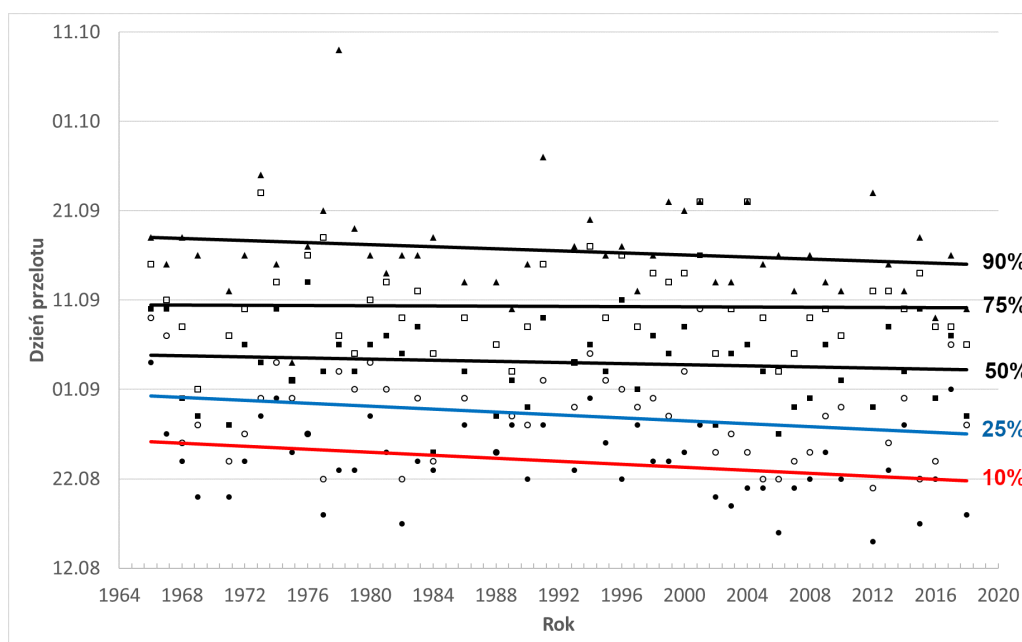
4.1. Wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji przez stację Bukowo-Kopań

Na stacji Bukowo-Kopań terminy jesiennej przelotu 10% młodych muchołówek szarych w latach 1966-2018 były coraz wcześniejsze, średnio o 16 dni w ciągu 53 lat badań (Tab. 4, Ryc. 9).

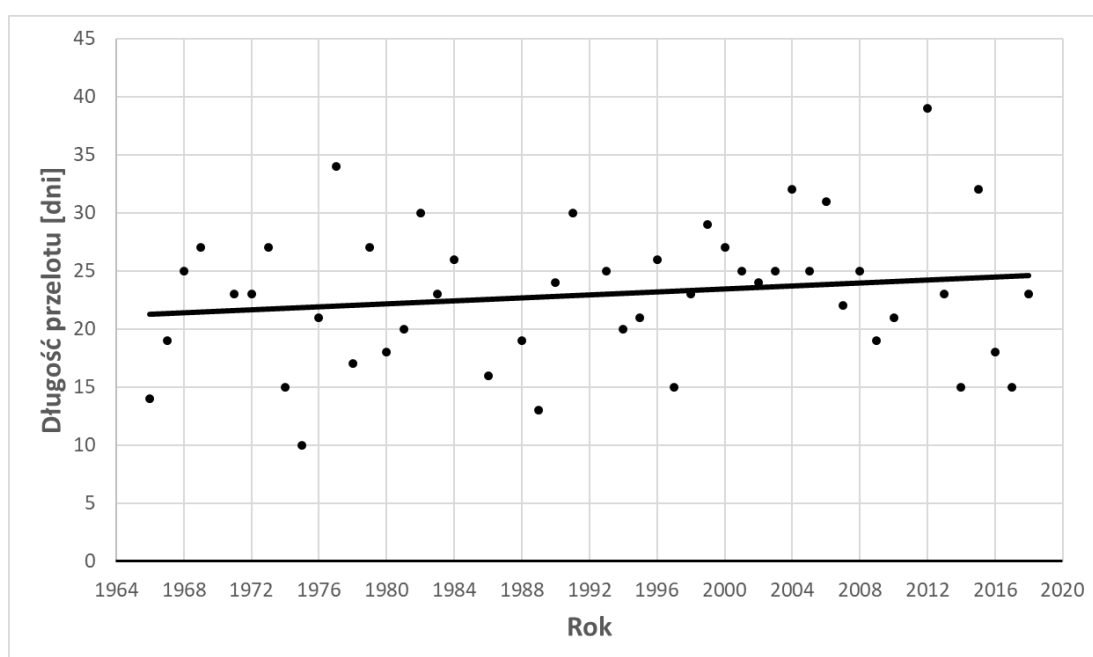
Tabela 4. Parametry regresji liniowej dla percentyli, długości przelotu i współczynników Annual Anomaly (AA) dla młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018; a – wyraz wolny, β – współczynnik regresji, SE – błąd standardowy współczynnika regresji, p – istotność statystyczna, R^2 – współczynnik determinacji, $\beta \cdot 53$ lata – średnia zmiana terminów (dni) w ciągu 53 lat badań. Czerwony – $p < 0,05$, niebieski – $p < 0,1$.

Wskaźniki terminu przelotu	a	β	SE	p	R^2	$\beta \cdot 53$ lata (dni)
10%	404,72	-0,3015	0,0393	0,0372	0,0909	-16
25%	404,99	-0,2558	0,0456	0,0793	0,0654	-14
50%	311,26	-0,1042	0,0447	0,4809	0,0109	-6
75%	266,85	-0,0192	0,0485	0,8970	0,0004	-1
90%	374,90	-0,1662	0,0502	0,2588	0,0276	-9
Długość przelotu (10%-90%)	-104,97	0,1686	0,0553	0,2520	0,0284	9
AA	93,63	-0,2034	0,0334	0,1657	0,0414	-11

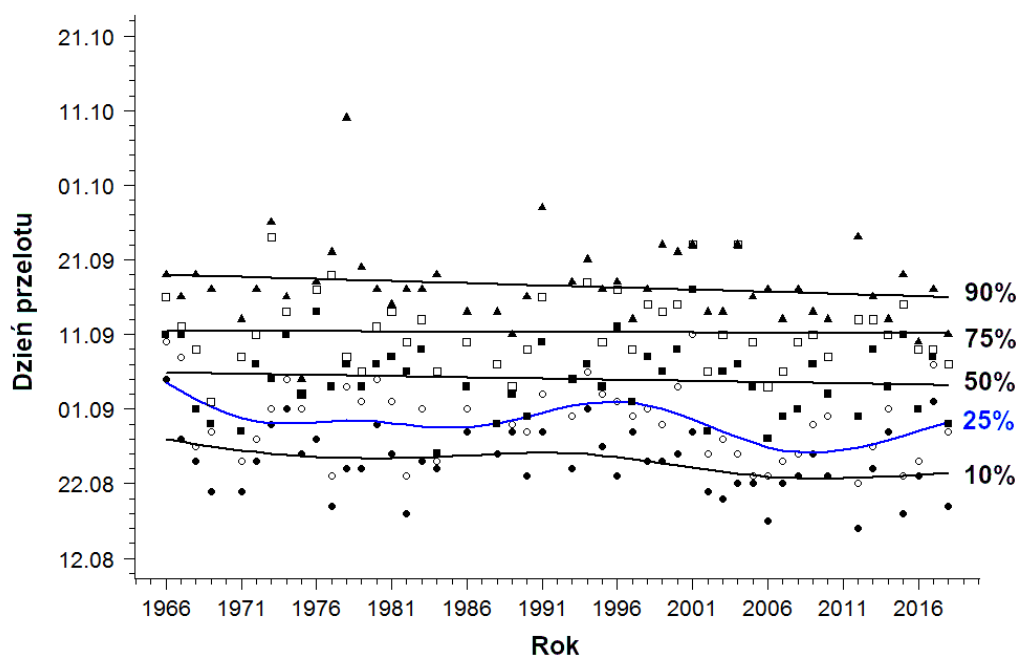
Również terminy 25% jesiennej przelotu uległy przyspieszeniu, średnio o 14 dni w okresie badań i ten trend był bliski istotności (Tab. 4, Ryc. 9). Trendy wieloletnie dla 50%, 75%, 90% przelotu wskazywały na tendencję do coraz wcześniejszego przelotu, jednak nie były istotne statystycznie (Tab. 4, Ryc. 9). Długość jesiennej migracji miała tendencję do wydłużenia okresu przelotu w latach 1966-2018, jednak ten trend nie był istotny statystycznie (Ryc. 10, Tab. 4). Dla terminów 25% jesiennej przelotu młodych muchołówek szarych, trend krzywoliniowy według uogólnionych modeli addytywnych (GAM), wykazał wieloletnie fluktuacje: 1966-1976 – przyspieszenie przelotu, 1986-1996 roku – opóźnienie przelotu, 1996-2009 roku – kolejne przyspieszenie przelotu, 2009-2018 roku – kolejne opóźnienie przelotu (Ryc. 11). Trend ten był bliski istotności statystycznej ($p < 0,1$). Regresja liniowa współczynników Annual Anomaly wskazała również na tendencję do coraz wcześniejszego przelotu w latach 1966-2018, która jednak nie była istotna (Ryc. 12, Tab. 4).



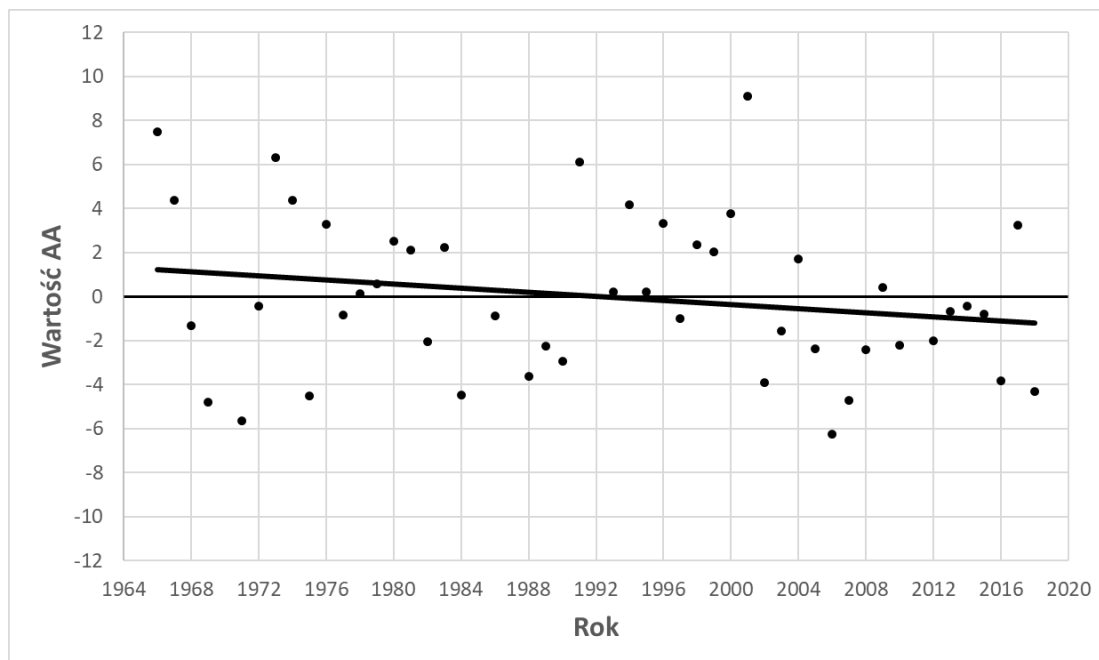
Ryc. 9. Regresja liniowa terminów jesiennej migracji 10%, 25%, 50%, 75% i 90% młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018. Czarne linie – trendy nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), niebieska linia – trend bliski istotności ($p < 0,1$), czerwona linia – trend istotny statystycznie ($p < 0,05$). Parametry regresji przedstawione są w Tab. 4.



Ryc. 10. Regresja liniowa długości przelotu (zakresu dni od 10% do 90% przelotu) jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018. Czarna linia – trend nieistotny statystycznie ($p > 0,05$). Parametry regresji przedstawione są w Tab. 4.



Ryc. 11. Trendy wieloletnie terminów jesiennego przelotu 10%, 25%, 50%, 75% i 90% młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018 według uogólnionych modeli addytywnych (GAM). Czarne linie – trendy nieistotne statystycznie ($p > 0,05$), niebieska linia – trend bliski istotności ($p < 0,1$).



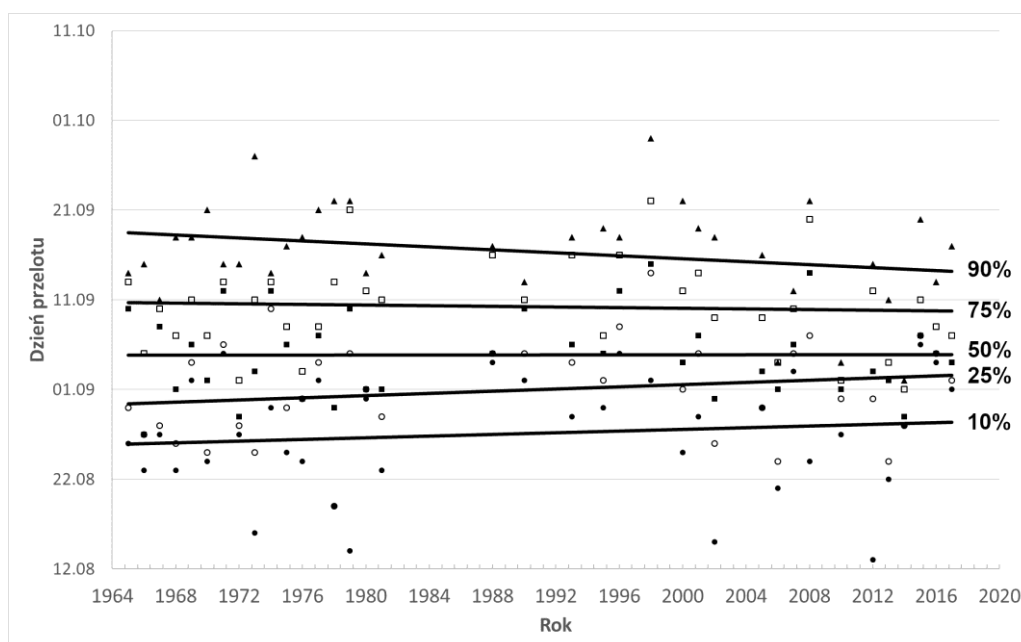
Ryc. 12. Regresja liniowa współczynników Annual Anomally (AA) jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018. Gruba czarna linia – trend nieistotny statystycznie ($p > 0,05$). Parametry regresji przedstawione są w Tab. 4.

4.2. Wieloletnie zmiany w terminach jesiennej migracji przez stację Mierzeja Wiślana

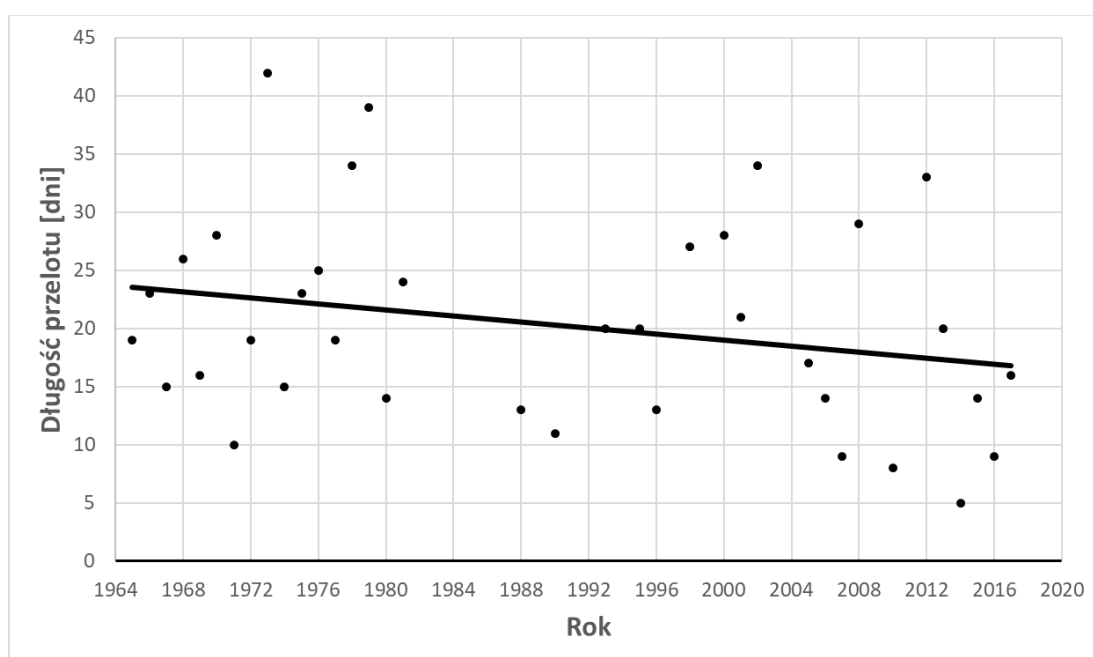
Nie wykazano zmian w terminach jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017 (Tab. 5, Ryc. 13). Również długość jesiennej migracji w tym okresie nie zmieniła się istotnie (Tab. 5, Ryc. 14). Trend krzywoliniowy terminów 10% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych, według uogólnionych modeli addytywnych (GAM), wykazał wieloletnie fluktuacje: 1965-1968 – opóźnienie przelotu, 1968-1976 – przyspieszenie przelotu, 1976-1991 – kolejne opóźnienie przelotu, 1991-2007 – kolejne przyspieszenie przelotu, 2007-2017 – kolejne opóźnienie przelotu; jednak trend ten był nieistotny statystycznie (Ryc. 15). Regresja liniowa współczynników Annual Anomali jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017, nie wykazała ogólnej zmiany w terminach przelotu (Tab. 5, Ryc. 16).

Tabela 5. Parametry regresji liniowej dla percentyli długości przelotu i współczynników Annual Anomali (AA) dla młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017; a – wyraz wolny, β – współczynnik regresji, SE – błąd standardowy współczynnika regresji, p – istotność statystyczna, R^2 – współczynnik determinacji, $\beta \cdot 53$ lata – średnia zmiana terminów (dni) w ciągu 53 lat badań. Czerwony – $p < 0,05$.

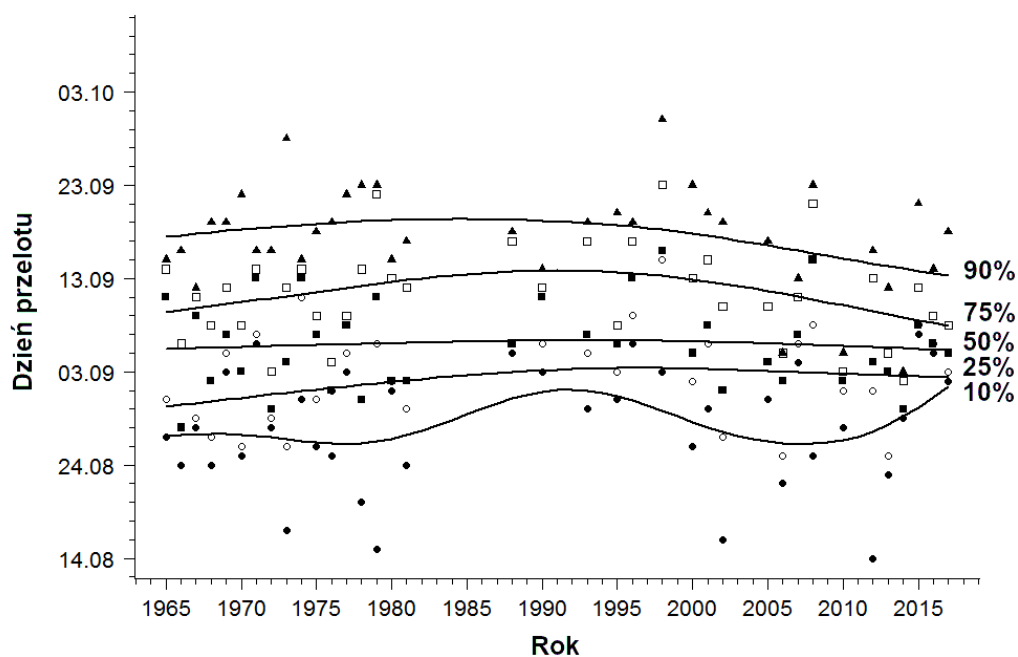
Wskaźniki terminu przelotu	a	β	SE	p	R^2	$\beta \cdot 53$ lata (dni)
10%	146,70	0,1268	0,0621	0,4547	0,0161	7
25%	123,42	0,1939	0,0522	0,2503	0,0376	10
50%	247,12	0,0032	0,0458	0,9848	0,00001	0
75%	289,41	-0,0601	0,0496	0,7237	0,0036	-3
90%	424,85	-0,2579	0,0523	0,1233	0,0665	-14
Długość przelotu (10%-90%)	278,15	-0,2539	0,0834	0,1294	0,0645	-13
AA	-1,30	0,0029	0,0377	0,9863	0,00001	0



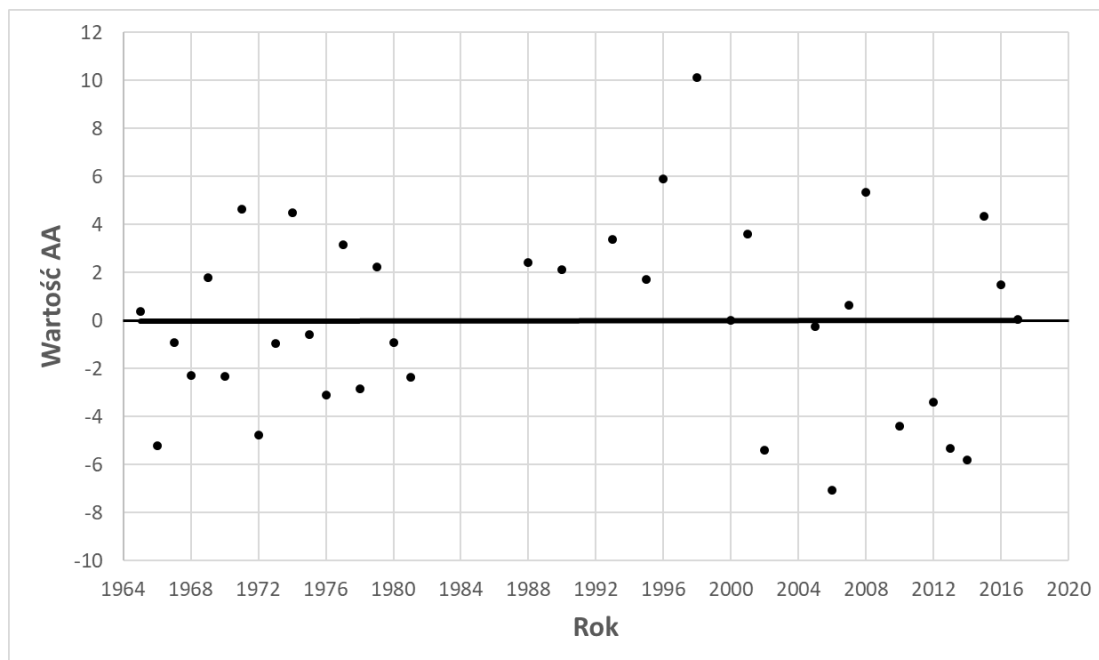
Ryc. 13. Regresja liniowa terminów jesiennej migracji 10%, 25%, 50%, 75% i 90% młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017. Czarne linie – trendy nieistotne statystycznie ($p > 0,05$). Parametry regresji przedstawione są w Tab. 5.



Ryc. 14. Regresja liniowa długości przelotu (zakresu dni od 10% do 90% przelotu) jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017. Czarna linia – trend nieistotny statystycznie ($p > 0,05$). Parametry regresji przedstawione są w Tab. 5.



Ryc. 15. Trendy wieloletnie terminów jesiennego przelotu 10%, 25%, 50%, 75% i 90% młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017 według uogólnionych modeli addytywnych (GAM). Czarne linie – trendy nieistotne statystycznie ($p > 0,05$).



Ryc. 16. Regresja liniowa współczynników Annual Anomaly (AA) jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017. Gruba czarna linia – trend nieistotny statystycznie ($p > 0,05$). Parametry regresji przedstawione są w Tab. 5.

4.3. Korelacje terminów jesiennej migracji oraz współczynników Annual

Anomaly między stacjami Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana

Terminy jesiennej przelotu 90% młodych muchołówek szarych były istotnie skorelowane między stacjami obrączkowania Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana (Tab. 6). Korelacje terminów pozostałych percentyli jesiennej przelotu oraz współczynników Annual Anomaly były nieistotne (Tab. 6).

Tabela 6. Współczynniki korelacji Pearsona (r) dla terminów jesiennej migracji (kolejne percentyle) oraz współczynników Annual Anomaly (AA) między stacjami Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana, w latach z okresu 1966-2017 wspólnych dla obu stacji (Tab. 1). Czerwony – $p < 0,05$.

Percentyle przelotu	10%	25%	50%	75%	90%	AA
Współczynnik korelacji (r)	0,0022	-0,0381	0,0098	0,0344	0,3794	0,0989
Istotność (p)	0,9900	0,8280	0,9550	0,8440	0,0250	0,5720

4.4. Korelacje terminów oraz współczynników Annual Anomaly dla jesiennej wędrówki przez Bukowo-Kopań z temperaturami na trasach migracji i na lęgowiskach

Im wyższa była średnia temperatura w maju na trasach wiosennej migracji muchołówek szarych w Południowych Włoszech, Turcji i na Bałkanach, na Węgrzech i na polskim wybrzeżu tym wcześniejszy był początek jesiennej migracji młodych ptaków tego gatunku przez stację Bukowo-Kopań w latach 1966-2018, na co wskazują ujemne korelacje (Tab. 7). Terminy 10% jesiennej przelotu młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w maju w regionach stacji meteorologicznych na Półwyspie Apenińskim, Turcji i Bałkanach (BLE) oraz na Węgrzech (SN) oraz w Łebie (Tab. 7). Terminy 50% jesiennej przelotu młodych muchołówek szarych były również skorelowane ze średnimi temperaturami w maju w Łebie (Tab. 7). Współczynniki Annual Anomaly jesiennej migracji młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w maju w Łebie, oraz w regionach BLE i SN, a dodatkowo także ze średnimi temperaturami w kwietniu w Lugano w Szwajcarii (Tab. 7).

Im wyższa była średnia temperatura w czerwcu na lęgowiskach w Norwegii i Szwecji, tym wcześniejszy był jesienny przelot młodych muchołówek szarych przez stację Bukowo-Kopań w latach 1966-2018, na co wskazują ujemne korelacje (Tab. 7). Terminy 50%, 75% i 90% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w czerwcu w regionie BG w Norwegii i KSS w południowej Szwecji (Tab. 7). Podobnie, współczynniki Annual Anomaly jesiennej migracji młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w czerwcu z regionów BG i KSS (Tab. 7).

Terminy jesiennej wędrówki młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018 nie były skorelowane z temperaturami jesienią, poza słabą ujemną korelacją terminów 10% jesiennego przelotu ze średnimi temperaturami w sierpniu z regionu BG (Tab. 7). Im cieplejszy był sierpień w południowej Norwegii (BG) tym wcześniej pierwsze 10% młodych ptaków pojawiało się na stacji Bukowo-Kopań.

Tabela 7. Współczynniki korelacji Pearsona terminów 10%, 25%, 50%, 75% i 90% jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań w latach 1966-2018 oraz jej współczynników Annual Anomaly z temperaturami na trasach migracji wiosennej (IV-V), na lęgowskich (VI-VII) i na trasach migracji jesiennej (VIII-IX). Stacje meteorologiczne – pełne nazwy to stacje traktowane pojedynczo, skróty – stacje połączone w regiony (Tab. 2). Czerwony – korelacje istotne ($p < 0,05$), niebieski – korelacja słaba, żółty – korelacja umiarkowana.

Miesiąc	Stacje meteorologiczne	10%	25%	50%	75%	90%	AA
IV	Łeba	-0,0975	-0,0352	-0,0718	-0,0296	0,0206	-0,0503
	Eindhoven	-0,2089	-0,1384	-0,1069	-0,1371	-0,1611	-0,1793
	Lugano	-0,2090	-0,2331	-0,1703	-0,1543	-0,2843	-0,2970
	SN	-0,1273	-0,1173	-0,0956	-0,0850	-0,1753	-0,1653
	BLE	-0,1444	-0,1262	-0,1014	-0,0255	-0,1121	-0,1447
V	Łeba	-0,3141	-0,2680	-0,2938	-0,2668	-0,2282	-0,3348
	Eindhoven	-0,1159	-0,0725	-0,1872	-0,1479	-0,1634	-0,1667
	Lugano	-0,0768	-0,0303	0,0773	-0,0188	-0,0585	-0,0235
	SN	-0,3717	-0,2193	-0,2317	-0,2426	-0,2451	-0,3431
	BLE	-0,3797	-0,2723	-0,2196	-0,1149	-0,0657	-0,3044
VI	BG	-0,0315	-0,1686	-0,4598	-0,4469	-0,4670	-0,4298
	KSS	-0,0120	-0,0900	-0,3811	-0,3061	-0,2846	-0,3021
	JKU	0,2774	0,1148	-0,1721	-0,0891	-0,0154	-0,0115
VII	BG	-0,0344	-0,1250	-0,1352	0,0115	-0,0878	-0,1314
	KSS	-0,0327	-0,0367	-0,1494	-0,0679	-0,1313	-0,1358
	JKU	0,0033	-0,0151	-0,1594	0,0380	-0,0956	-0,0523
VIII	BG	-0,2928	-0,2360	-0,1626	-0,0930	-0,0933	-0,2556
	KSS	-0,2506	-0,1839	-0,1922	-0,1340	-0,1608	-0,2646
	JKU	-0,2737	-0,2147	-0,1586	-0,1797	-0,1003	-0,2548
IX	BG	-0,1749	-0,1679	-0,1264	-0,0913	-0,1032	-0,1616
	KSS	-0,1539	-0,1730	-0,1637	-0,1672	-0,1912	-0,2174
	JKU	-0,1782	-0,1027	-0,0015	-0,1079	-0,2741	-0,1844

4.5. Korelacje terminów oraz współczynników Annual Anomaly dla jesiennej wędrówki przez Mierzeję Wiślaną z temperaturami na trasach migracji i na lęgowiskach

Im wyższa była średnia temperatura wiosną na trasach wiosennej migracji muchołówek szarych na wybrzeżach Morza Śródziemnego, w Szwajcarii, w Holandii oraz na polskim wybrzeżu, tym późniejszy był początek przelotu jesiennego (korelacje dodatnie) i tym wcześniejszy był koniec przelotu jesiennego młodych ptaków z tego gatunku (korelacje ujemne) przez stację Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017 (Tab. 8). Terminy 10%, 25%, 75% i 90% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych skorelowane ze średnimi temperaturami w kwietniu w Lugano w Szwajcarii (Tab. 8.). Terminy 75% przelotu były też skorelowane ze średnimi temperaturami w kwietniu z regionu BLE na południu Europy, a terminy 90% ze temperaturami w kwietniu w Eindhoven w Holandii (Tab. 8). Dodatkowo, terminy 25% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w kwietniu w Łebie (Tab. 8). Współczynniki Annual Anomaly dla jesiennej migracji młodych muchołówek szarych nie były skorelowane ze średnimi temperaturami ze stacji meteorologicznych na trasach wiosennej migracji (Tab. 8).

Im wyższa była średnia temperatura latem na lęgowiskach muchołówek szarych w Fennoskandii, tym wcześniejszy był jesienny przelot tych ptaków przez stację Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017, na co wskazują ujemne korelacje (Tab. 8). Terminy 25% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w czerwcu w regionach KSS w południowej Szwecji i JKU w Finlandii i północnej Szwecji, a terminy 50% przelotu z temperaturami z czerwca z regionów BG w Norwegii i KSS (Tab. 8). Terminy 50%, 75% i 90% przelotu były skorelowane ze średnimi temperaturami w lipcu w regionach BG i KSS, a terminy 50% dodatkowo były skorelowane ze średnimi z lipca z regionu JKU (Tab. 8). Współczynniki Annual Anomaly były skorelowane ze średnimi temperaturami w czerwcu i lipcu z regionów BG i KSS, a tylko w lipcu – z regionu JKU (Tab. 8).

Im wyższa była średnia temperatura jesienią na trasach jesiennej migracji muchołówek szarych przez Skandynawię, tym wcześniej kończył się ich jesienny przelot przez stację Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017, na co wskazują ujemne korelacje (Tab. 8). Terminy 75% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych były skorelowane ze średnimi temperaturami w sierpniu z regionu JKU (Tab. 8).

Terminy 90% jesiennego przelotu były skorelowane ze średnimi temperaturami w sierpniu i we wrześniu z regionów JKU, BG i KSS (Tab. 8). Współczynniki Annual Anomaly były słabo skorelowane ze średnimi temperaturami w sierpniu z regionu JKU (Tab. 8).

Tabela 8. Współczynniki korelacji Pearsona terminów 10%, 25%, 50%, 75% i 90% jesiennego migracji młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana w latach 1965-2017 oraz jej współczynników Annual Anomaly (AA) z temperaturami na trasach migracji wiosennej (IV-V), na lęgówiskach (VI-VII) i na trasach migracji jesiennego (VIII-IX). Stacje meteorologiczne – pełne nazwy to stacje traktowane pojedynczo, skróty – stacje połączone w regiony (Tab. 2). Czerwony – korelacje istotne ($p < 0,05$), niebieski – korelacja słaba, żółty – korelacja umiarkowana.

Miesiąc	Stacje meteorologiczne	10%	25%	50%	75%	90%	AA
IV	Łeba	0,2511	0,3291	0,2071	0,0889	-0,0255	0,2199
	Eindhoven	0,2777	0,2591	-0,0095	-0,0253	-0,3661	0,0440
	Lugano	0,4344	0,1641	-0,0687	-0,3394	-0,4623	-0,0616
	SN	-0,0100	-0,0558	-0,1928	-0,2842	-0,1990	-0,2075
	BLE	-0,0894	-0,0982	-0,2373	-0,3461	-0,2138	-0,2615
V	Łeba	-0,0938	0,0914	-0,0083	0,1084	-0,0094	-0,0078
	Eindhoven	0,0952	0,2904	0,1842	0,2884	0,1580	0,2340
	Lugano	0,1614	0,3331	0,1872	0,0214	-0,0335	0,1624
	SN	0,0611	0,1656	0,1194	0,0763	0,0238	0,0938
	BLE	0,0958	0,0730	0,0752	-0,0865	-0,0370	0,0373
VI	BG	-0,0517	-0,2355	-0,3348	-0,2454	-0,2174	-0,3261
	KSS	-0,1911	-0,3525	-0,3467	-0,2529	-0,0488	-0,3600
	JKU	-0,2296	-0,3248	-0,2883	-0,1873	-0,0050	-0,3114
VII	BG	-0,0807	-0,2586	-0,3520	-0,4572	-0,4602	-0,4222
	KSS	-0,1123	-0,2908	-0,4175	-0,5135	-0,4780	-0,4708
	JKU	-0,1465	-0,2082	-0,4073	-0,2944	-0,2768	-0,3690
VIII	BG	-0,0116	-0,1116	-0,1245	-0,2726	-0,2007	-0,2157
	KSS	-0,0379	-0,1231	-0,0925	-0,3049	-0,2053	-0,2102
	JKU	0,0036	-0,1462	-0,1530	-0,3877	-0,5152	-0,3432
IX	BG	0,1337	0,0110	0,0048	-0,1169	-0,3383	-0,0844
	KSS	0,0437	-0,0226	-0,0619	-0,1762	-0,3771	-0,1714
	JKU	0,1616	0,0591	0,0940	-0,1251	-0,4452	-0,0706

5. Dyskusja

5.1. Wieloletnie trendy w terminach jesiennej wędrówki muchołówki szarej przez polskie wybrzeże w porównaniu do innych regionów Europy

Wyniki naszych badań wykazały przyspieszenie początku jesiennej migracji młodych muchołówek szarych przez stację ornitologiczną Bukowo-Kopań, na polskim wybrzeżu Bałtyku średnio o 14-16 dni w ciągu 53 lat (Tab. 4, Ryc. 9). Natomiast podobne długoterminowe badania na wyspie Fair Isle w północnej Szkocji, wykazały brak istotnych zmian w wieloletnich terminach jesiennej wędrówki muchołówek szarych w latach 1955-2014 (Miles i inni 2017), podobnie jak dla stacji Mierzeja Wiślana (Tab. 9). To samo badanie wykazało brak istotnych zmian w długości jesiennej przelotu, mierzonych jako zakresu dni między terminami 10% i 90% jesiennej przelotu (Miles i inni 2017). Podobne wyniki dotyczące długości jesiennej przelotu uzyskano w naszych badaniach, na obu stacjach (Tab. 4, 5, Ryc. 10, 14).

Na duńskiej wyspie Christiansø, w krótszym okresie badań (1976-1997), nie zaobserwowano zmian w wieloletnich trendach w terminach jesiennej wędrówki dla początku i mediany przelotu muchołówek szarych (Tøttrup i inni 2006a). Podobny rezultat można zauważyć dla polskich stacji Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana w tym samym okresie (Tab. 9). Tøttrup i inni (2006a) wykazali jednak tendencję do opóźnienia końcowego etapu jesiennej migracji muchołówek szarych na Christiansø, w przeciwieństwie do wyników dla obu polskich stacji (Tab. 9). Porównanie to może być obarczone pewnym błędem, z powodu wykluczenia ponad 12 lat w okresie 22-letnich badań dla stacji Mierzeja Wiślana oraz ze względu na inne przyjęte wartości percentyli dla początku i końca przelotu (Tab. 9). W naszych badaniach uwzględniłam terminy 10% i 90%, jesiennej przelotu młodych muchołówek szarych, zamiast 5% i 95% jak w Christiansø, aby uniknąć błędów dla tych skrajnych wartości, z powodu zbyt małej liczby osobników schwytanych w niektórych latach.

Tabela 9. Porównanie współczynników regresji (β) dla poszczególnych percentyli jesiennego przelotu muchołówek szarych, z różnych stacji badawczych. BK – Bukowo-Kopań (Tab. 4), MW – Mierzeja Wiślana (Tab. 5), FI – Fair Isle (Miles i inni 2017), CHR – Christiansø (Tøttrup i inni 2006a). N-lat – liczba lat w całym okresie badań, N-sez – liczba sezonów uwzględnionych w pracy. Czerwony – $p < 0,05$, niebieski – $p < 0,1$. Kreskowanie – brak danych.

Stacja	Okres badań	N-lat	N-sez	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
BK	1965-2018	53	48		-0,30	-0,26	-0,10	-0,02	-0,17	
MW	1966-2017	53	37		0,05	0,06	0,003	-0,02	-0,08	
FI	1955-2014	60	60	-0,03	-0,03	-0,07	0,02	0,07	0,06	0,02
BK	1976-1997	22	18		0,41	0,25	0,02	0,02	0,06	
MW	1976-1997	22	10		0,55	0,50	0,47	0,001	-0,31	
CHR	1976-1997	22	20	0,18			0,07			0,69

Wieloletnie badanie w Oxfordshire, w Wielkiej Brytanii, wykazało niewielkie przyspieszenie w terminach ostatnich etapów odlotu dla jesiennego przelotu muchołówek szarych w latach 1971-2000 (Cotton 2003). W naszych wynikach dla terminów 90% jesiennego przelotu w latach 1965-2018, pojawiła się podobna tendencja do wcześniejszych terminów ostatniego etapu jesiennego przelotu przez polskie wybrzeże Bałtyku, jednak dla obu stacji była ona nieistotna (Tab. 9).

Różnice w wynikach badań innych autorów i naszych mogą być związane ze specyficzną odpowiedzią na zmiany klimatu muchołówek szarych z lęgówisk z różnych regionów Europy. Inną przyczyną może być również różnica w długości okresów badań, ponieważ niektóre ze zmian mogą być istotnie zauważalne dopiero w dłuższym okresie lub w późniejszym czasie, ze względu na wzrastającą częstotliwość sezonowych anomalii temperaturowych (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/, 2020). W przeciwieństwie do porównanych przeze mnie badań, nasze badania objęły okres 2011-2016, charakteryzujący się najcieplejszymi latami ostatniego stulecia (Simmons i inni 2017).

5.2. Porównanie wyników dotyczących muchołówki szarej z innymi migrantami daleko- i średniodystansowymi

W analogicznych badaniach Akcji Bałtyckiej, dotyczącymi innych migrantów dalekodystansowych, wykazano podobne nieistotne wieloletnie trendy jesiennej migracji dla młodych piegży *Curruca curruca*, przelatujących przez stację Mierzeja Wiślana jesienią w latach 1967-2017 (Pinszke 2019). Dla stacji Bukowo-Kopań, nie wykazano zmian w terminach poszczególnych etapów jesiennej migracji młodych piegży w latach 1967-2018 (Pinszke 2019). W przeciwieństwie do tych ptaków, dla młodych muchołówek szarych początek jesiennej przelotu przez tę samą stację w latach 1966-2018, miał tendencję do coraz wcześniejszych terminów migracji (Tab. 4, Ryc. 9). Natomiast jesienny przelot młodych gajówek, w latach 1967-2018, na obu stacjach miał tendencję do wcześniejszego zakończenia jesiennej migracji i skrócenia długości przelotu tych ptaków, a na stacji Bukowo-Kopań do ogólnego przyspieszenia jesiennej migracji (Pinszke 2019). W przeciwieństwie do gajówek, u młodych muchołówek szarych nie stwierdziłam wieloletnich zmian w terminach ostatniego etapu jesiennej migracji, długości przelotu oraz ogólnych zmian w jesiennej migracji na obu stacjach (Tab. 4, 5).

Prawdopodobnie, zaobserwowane różnice wśród różnych gatunków migrantów dalekodystansowych, mogą być związane z ich zdolnością do przystępowania jednego lub do więcej lęgów sezonie (Halupka i Halupka 2017). Muchołówki szare, pomimo podobnego zasięgu migracji jak gajówki, wykazały większe podobieństwo w wieloletnich zmianach jesiennej migracji do piegży, które co prawda mają krótszy dystans migracji, lecz mogą przystępować do dwóch lęgów w sezonie, podobnie jak muchołówki szare (Cramp i inni 1992, 1993). Zdolność ta, może okazać się kluczowa w adaptacji do postępujących zmian klimatu, w tym coraz częstszych anomalii pogodowych (Gładalski i inni 2014). W badaniach nad muchołówną żałobną w Szwajcarii i Holandii, wykazano, że samice tego gatunku mogą częściej przystępować do drugich lęgów w sezonie w odpowiedzi na coraz cieplejsze wiosny (Both i inni 2019). Autorzy tych badań przypuszczają, że zjawisko to może być coraz bardziej powszechne wśród migrujących ptaków, z powodu coraz wcześniejszych terminów składania jaj (Both i inni 2019). Samice muchołówek szarych mogłyby podobnie jak u muchołówek żałobnych, próbować dwóch lęgów w danym sezonie w Europie Północnej, z powodu coraz cieplejszej wiosny (Tomotani i inni 2018, Both i inni 2019). Populacje muchołówek szarych przystępujące do dwóch lęgów z reguły

występują w południowych częściach zasięgu występowania w Europie i w Wielkiej Brytanii (Cramp i inni 1993). Mimo to, w Wielkiej Brytanii, wykazano spadek proporcji populacji muchołówek szarych przystępujących do lęgów dwukrotnie w danym sezonie, z 20% badanych osobników w 1952 roku, do 14% w roku 2003 (Kirby i inni 2005). Autorzy tych badań sugerują, że ta niewielka różnica może wynikać z krótszego okresu lęgowego w wyniku zmian klimatu lub z utrudnionego dostępu do pożywienia, prowadzącego do obniżenia kondycji ptaków dorosłych (Kirby i inni 2005). Hipotetycznie, młode osobniki z drugich lęgów powinny opóźniać zakończenie jesiennego przelotu, lecz nasze badania nie wykazały opóźnienia w terminach końcowych percentyli migracji. Prawdopodobnie, młode muchołówki szare z drugich lęgów stanowią niewielki procent w populacjach z lęgówisk w Fennoskandii, które wędrują przez stacje Akcji Bałtyckiej (Maciąg i in. 2017). Przypuszczalnie, przyszłe adaptacje do zmian klimatu u muchołówek szarych mogą być bardziej nasilone, ze względu na silniejsze zmiany czynników środowiska wpływających na te ptaki na trasach wiosennej migracji oraz lokalnie na lęgówiskach.

Badania Akcji Bałtyckiej dotyczące migrantów średniodystansowych – śpiewaków, wykazało istotne przyspieszenie terminów początku jesiennej migracji tych ptaków przez stację Mierzeja Wiślana w latach 1975-2014, oraz przyspieszenie mediany przelotu po 1999 roku (Redlisiak i inni 2018). Mucholówki szare, o innej strategii migracji, ale o podobnych lęgówiskach jak śpiewaki wędrujące przez stacje Akcji Bałtyckiej, wykazywały podobną tendencję do wcześniejszych terminów początkowego etapu jesiennej migracji przez stację Bukowo-Kopań (Tab. 4). Może to wskazywać, że u obu gatunków młode ptaki z pierwszych lęgów na lęgówiskach w Fennoskandii coraz wcześniej są gotowe do jesiennej wędrówki (Redlisiak i inni 2018).

U śpiewaków terminy zakończenia jesiennej migracji nie uległy wieloletniej zmianie, mimo to w połączeniu z tendencją do wcześniejszego początku jesiennej wędrówki, dało to efekt w postaci wydłużenia okresu jesiennego przelotu (Redlisiak i inni 2018). Brak analogicznych zmian w długości jesiennego przelotu u muchołówek szarych, może wynikać ze znacznie dłuższej trasy ich jesiennej migracji, w porównaniu do śpiewaków. Śpiewaki z północnych zasięgów występowania, tak jak muchołówki szare, przystępują z reguły do jednego lęgu w sezonie, jednak mają potencjał do większej liczby lęgów w sezonie przy coraz wcześniejszych i cieplejszych wiosnach (Cramp i inni 1988, 1993, Redlisiak i inni 2018). Śpiewaki,

które wędrują na południe Europy i do północnej Afryki, być może wychowują drugie lęgi w sprzyjających latach, co powoduje wydłużenie okresu jesiennej wędrówki przez późniejszą wędrówkę młodych ptaków z drugich lęgów (Redlisiak i inni 2018). Natomiast muchołówki szare, ze względu na migrację do Afryki subsaharyjskiej, mogą mieć mniejszą tendencję do składania drugich lęgów, z których pisklęta nie dorosłyby na czas, aby odbyć tę daleką wędrówkę, niż śpiewaki. Stąd brak opóźnienia końcówki przelotu młodych muchołówek szarych. Jednak, podobnie jak śpiewaki, muchołówki mogą wcześniej składać pierwsze lęgi w ciepłe wiosny, co daje w efekcie przyspieszenie początku wędrówki młodych ptaków, które są wcześniej gotowe do wędrówki.

5.3. Porównanie terminów jesiennej wędrówki przez stacje Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana

Istotna korelacja terminów 90% jesiennego przelotu muchołówek szarych przez stacje Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana (Tab. 6) może sugerować, że podobne czynniki mogłyby w podobny sposób wpływać na koniec jesiennej migracji na obu stacjach. W analogicznych badaniach Akcji Bałtyckiej, dotyczących migrantów dalekodystansowych, wykazano podobną istotną korelację terminów 90% jesiennego przelotu gajówek, przez te same stacje (Pinszke 2019). Natomiast korelacja terminów 95% jesiennego przelotu tych ptaków przez te same stacje, była bliska poziomu istotności (Pinszke 2019). Przypuszczalnie, również jak w przypadku muchołówek szarych, podobne czynniki w podobny sposób mogą wpływać na ostatni etap jesiennej migracji gajówek, na obu stacjach (Pinszke 2019). W tej samej pracy, nie wykazano natomiast istotnych korelacji terminów jesiennego przelotu piegży, przez stacje Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana (Pinszke 2019).

5.4. Zmiany z roku na rok w terminach jesiennej wędrówki przez polskie wybrzeże w porównaniu do innych regionów Europy

Trend według GAM dla 25% jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych na stacji Bukowo-Kopań okazał się krzywoliniowy i wykazał okresowe fluktuacje terminów, bliskie istotności (Ryc. 11). Podobne, lecz nieistotne fluktuacje dla 10% jesiennego przelotu, zaobserwowano dla stacji Mierzeja Wiślana (Ryc. 15). Wykazane fluktuacje mogą być zależne od zmian przelotu z roku na rok, związanych z temperaturami na lęgowiskach i trasach wiosennej migracji (Tab. 7, 8) (Redlisiak i inni 2018). Coroczne terminy jesiennego przelotu migrantów krótkodystansowych,

wykazywały korelacje z wiosennymi i letnimi temperaturami w rejonie stacji Rybaczi w strefie Kaliningradu (Rosja), natomiast wśród migrantów dalekodystansowych, w tym muchołówek szarej, takie korelacje były słabiej zaznaczone (Sokolov i inni 1999).

Mała liczba schwytanych młodych osobników muchołówek szarej między 1982 a 1987 rokiem, na stacji Mierzeja Wiślana, przez co te lata musiałam wyłączyć z analiz (Tab. 1), może być związana ze zwiększoną śmiertelnością na trasach migracji, z powodu suszy w regionie Sahelu w latach 1984/85 (Gibbons i inni 1993). Oprócz temperatur na trasach migracji, inne czynniki, np. zmiany wielkości populacji (Gordo 2007), mogą przyczynić się do zróżnicowania migracji z roku na rok, co może przesłaniać wieloletnie trendy, nawet w wiosennej migracji, jak u śpiewaka (Redlisiak i inni 2018). Podobnie, czynniki populacyjne oraz temperatury na poprzednich etapach życia ptaków dorosłych i ich potomstwa mogą wpływać na zmiany migracji jesiennej z roku na rok. Przykładowo, w badaniach nad piegżą, nie wykazano zmian w wieloletnich trendach jesiennej migracji tych ptaków, lecz temperatura wiosną na trasach wiosennej migracji tego gatunku w Izraelu, była istotnie skorelowana z terminami 25%, 50%, 75% i 90% jesiennego przelotu (Pinszke 2019).

5.5. Związek między terminami jesiennej wędrówki przez polskie wybrzeże a temperaturami na lęgowiskach i na trasach jesiennej migracji

Nasze badania wykazały związek między terminami jesiennej migracji młodych muchołówek szarych przez polskie wybrzeże a temperaturami na lęgowiskach i na trasach jesiennej migracji. Mniej oczywiste dla stacji Mierzeja Wiślana niż Bukowo-Kopań związki terminów jesiennej migracji z temperaturami mogą być spowodowane niestabilną, spadkową liczebnością schwytanych osobników (Maciąg i inni 2017). Innym wyjaśnieniem mogłaby być słaba adaptacja do ocieplenia klimatu populacji lęgowych wędrujących przez Mierzeję Wiślaną.

Terminy jesiennej migracji były najsilniej skorelowane temperaturami latem na lęgowiskach w Fennoskandii w różnych miesiącach okresu lęgowego – dla stacji Bukowo-Kopań był to czerwiec, natomiast dla stacji Mierzeja Wiślana – lipiec (Tab. 7, 8). Różnica ta, może wynikać z nieco odmiennych proporcji populacji muchołówek szarych z różnych rejonów lęgowisk przelatujących przez obie stacje. Jednak ogólna prawidłowość była taka sama – im wyższa była temperatura na lęgowiskach, tym wcześniejsza była jesienna migracja młodych muchołówek szarych przez obie stacje. Ciepłe lata mogą umożliwić wcześniejszy i szybszy wzrost młodych osobników,

dzięki czemu wcześniej są one gotowe, żeby opuścić swoje lęgowiska, niż w przypadku chłodniejszych i deszczowych miesięcy letnich (Redlisiak i inni 2018). W wyniku wzrastających temperatur na lęgowiskach, młode muchołówki szare z wczesnych lęgów mogą wcześniej podejmować jesienną wędrówkę. Przyspieszony początek jesiennej migracji na Bukowie, skorelowany z temperaturami w południowo-zachodniej Skandynawii, ale bez zmian w medianie i końcu jesiennego przelotu, może wynikać z częstszych prób drugich lęgów u muchołówek szarych na tych lęgowiskach, jako adaptacji do coraz cieplejszych sezonów wiosennych i letnich. Końcowy etap jesiennego przelotu przez obie stacje był istotnie skorelowany z letnimi temperaturami i był tym wcześniejszy, im cieplejsze było lato (Tab. 7, 8), podobnie jak w Oxfordshire, w Wielkiej Brytanii (Cotton 2003).

Jesienna migracja młodych muchołówek szarych przez stację Bukowo-Kopań, zasadniczo nie miała związku z temperaturami na jesiennych trasach migracji z lęgówisk na tę stację. Im wyższa była średnia temperatura jesienią w Fennoskandii w okresie jesiennego przelotu, tym wcześniej kończył się przelot tych ptaków przez stację Mierzeja Wiślana. Zjawisko to może odzwierciedlać wcześniejszy i szybszy wzrost młodych osobników oraz ich wcześniejszą gotowość do migracji, z powodu cieplejszego początku jesieni na ich lęgowiskach, podobnie jak w przypadku śpiewaków (Redlisiak i inni 2018). Różnica między stacjami w korelacji terminów jesiennego przelotu z jesiennymi temperaturami, może być spowodowana różnym wpływem ocieplenia klimatu, na różne populacje muchołówek szarych wędrujące przez obie stacje Akcji Bałtyckiej. W nadbałtyckiej rosyjskiej stacji Rybaczi, mediana jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych nie była związana z lokalnymi temperaturami z sierpnia i września (Sokolov i inni 1999). Wyniki te były analogiczne do korelacji 50% jesiennego przelotu tych ptaków na stacji Mierzeja Wiślana, z temperaturami z tych samych miesięcy w Fennoskandii. Mucholówki szare przelatujące przez blisko położone stacje Rybaczi i Mierzeja Wiślana (Redlisiak i inni 2018), mogłyby pochodzić z tej samej populacji lęgowej, z północnej Europy.

5.6. Związek między terminami jesiennej wędrówki ptaków młodych przez polskie wybrzeże a temperaturami na trasach wiosennej migracji ptaków dorosłych na lęgowiska

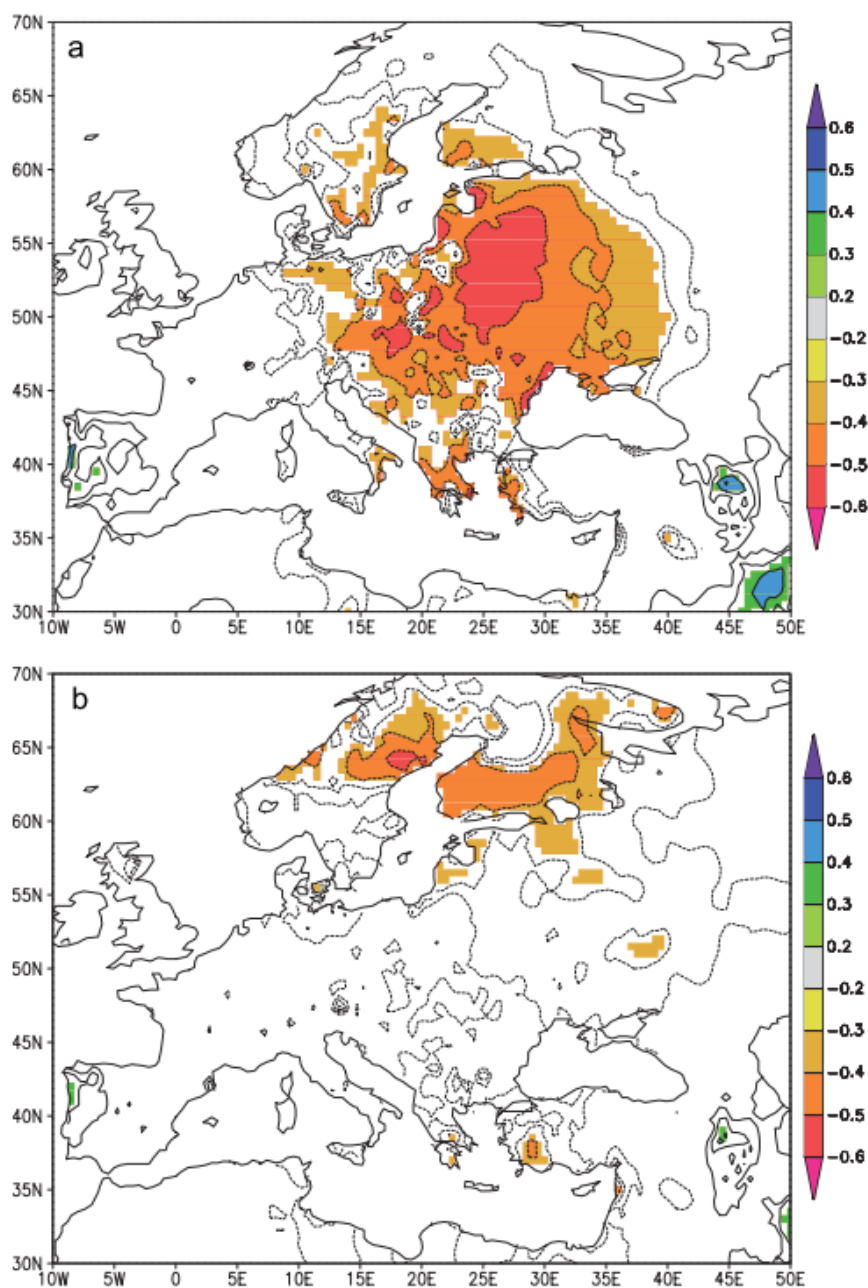
Nasze badania wykazały związek między terminami jesiennej migracji młodych muchołówek szarych przez polskie wybrzeże, a temperaturami wiosną na trasach wiosennej migracji. Im wyższa była temperatura wiosną na trasach wiosennej migracji w Południowych Włoszech, Turcji i na Bałkanach, na Węgrzech i na polskim wybrzeżu, tym wcześniejszy był koniec jesiennej migracji młodych ptaków na stacji Bukowo-Kopań. Im wyższa była temperatura wiosną na trasach wiosennej migracji w Szwajcarii i na polskim wybrzeżu, tym późniejszy był początek jesiennej migracji, a i im wyższe były temperatury wiosną na wybrzeżach Morza Śródziemnego, w Szwajcarii i w Holandii tym wcześniejszy był koniec migracji młodych muchołówek szarych przez stację Mierzeja Wiślana, podobnie jak na Bukowie. Wpływ ten mógł być jedynie pośredni, ponieważ młode osobniki badane w tej pracy jeszcze nie istniały wiosną, więc warunki wiosenne musiały wpłynąć na ich rodziców. Ciepłe wiosny mogą sprzyjać wcześniejszym terminom przybycia ptaków dorosłych na lęgowiska i rozpoczęcia lęgów, a co z tego wynika – wcześniejszym wykluciem i dojrzewaniem młodych, a następnie wcześniejszymi terminami opuszczania lęgowisk przez ptaki z obu grup wiekowych, niż w latach z zimnymi wiosnami (Sokolov i inni 1999, Gordo 2007). Jeżeli ciepłe wiosny umożliwiają wczesne przybycie osobników dorosłych na lęgowiska wiosną, i w ten sposób temperatury wiosenne są związane z terminem jesiennej migracji ich potomstwa, wówczas ciepłe wiosny na trasie wiosennej migracji powinny powodować przyspieszenie zakończenia migracji młodych ptaków, jeśli chodzi o gatunek z jednym lęgiem w roku (Pinszke 2019), podobnie jak w naszych wynikach dla obu stacji. Przyspieszenie początku migracji na stacji Bukowo-Kopań i jego związek z wysokimi temperaturami na trasach wiosennej migracji są również zgodne z takim wyjaśnieniem. Jednak dla Mierzei Wiślanej zależność między początkiem jesiennej migracji a temperaturami na trasach wiosennej migracji w Szwajcarii i w Łebie była odwrotna, co trudno wytłumaczyć. Może być to związane z odmiennymi trasami wiosennej migracji przelatujących przez te stacje muchołówek szarych, co sugerują silniejsze korelacje terminów jesiennego przelotu na Bukowie z temperaturami wiosną na Bałkanach, a dla Mierzei – z tymi w Holandii. Zróżnicowany wpływ temperatur wiosną na różne etapy jesiennej migracji młodych muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiślana, mógłby również mieć

związek z niestabilnymi liczebnościami muchołówek szarych na tej stacji, gdzie w latach 1965–1972 chwymano 78–289 młodych ptaków na sezon, a w późniejszych latach liczebności rzadko przekraczały 50 osobników (Tab. 1). Przy dużych liczebnościach ptaków wczesne stwierdzenie pierwszych migrantów jest bardziej prawdopodobne niż przy niewielkich liczebnościach, i ta reguła opisana dla przelotu wiosennego (Gordo 2007), mogłaby wyjaśniać również nasze wyniki dla początku wędrówki jesiennej dla Mierzei Wiślanej.

Nasze badania nie skupiały się na zagadnieniu wieloletnich zmian w terminach wiosennej migracji muchołówek szarych przez polskie wybrzeże, których było zbyt mało na takie analizy. Tak więc nie wiadomo dokładnie jak przebiegały zmiany w wiosennej migracji tych ptaków w okresie 53 lat badań, która mogłaby wpływać na zmiany w terminach jesiennej migracji młodych osobników z tego gatunku. Natomiast dostępna jest literatura dotycząca terminów wiosennej migracji tych ptaków w innych regionach Europy. Badania na duńskiej wyspie Christiansø na Bałtyku wykazało przyspieszenie terminów wiosennej migracji w ciągu 22 lat w latach 1976–1997 (Tøttrup i inni 2006b). W Wilnie, na Litwie, w latach 1971–2004 nie wykazano zmian w pierwszych datach przylotu (ang. „first arrival dates”) wiosną (Zalakevicius i inni 2006). W Wielkiej Brytanii, w latach 1888–1947 nie wykazano zmian w pierwszych datach wiosennego przelotu muchołówek szarych, lecz wykazano związek tych terminów z temperaturami na trasach wiosennej migracji (Huin i Sparks 2000), podobnie jak w mojej pracy. Im wyższa była temperatura w marcu na Półwyspie Iberyjskim oraz w kwietniu we Francji i środkowej Anglii, tym wcześniejsza była średnia data wiosennego przylotu muchołówek szarych do Wielkiej Brytanii (Huin i Sparks 2000). Autorzy Ci sugerują również, że terminy wędrówek migrantów dalekodystansowych mogą być regulowane nie tylko przez fotoperiod, lecz także w pewnym stopniu przez temperaturę na zimowiskach (Huin i Sparks 2000).

Wiosenna migracja muchołówek szarych przez stację Hanko w Finlandii w latach 1979–2010, im wyższa była temperatura w maju w południowych Włoszech, na Węgrzech i na Bałkanach, tym wcześniejsze były terminy początku wiosennej migracji (5%) (Halkka i inni 2011), podobnie jak dla korelacji pierwszych 10% jesienno przelotu dla stacji Bukowo-Kopań (Tab. 7), ale nie na Mierzei Wiślanej (Tab. 8). Terminy 50% wiosennego przelotu w Hanko nie były istotnie skorelowane z temperaturami w maju na trasach wiosennej migracji w pobliżu tureckiej stacji

meteorologicznej w Edirne, na Bałkanach i w Holandii (Halkka i inni 2011), podobnie jak dla 50% jesiennego przelotu dla stacji Bukowo-Kopań i Mierzeja Wiślana. W przeciwieństwie do naszych wyników, dotyczących jesiennej migracji przez stację Bukowo-Kopań, nie wykazano związku między terminami wiosennego przelotu pierwszych 5% i 50% muchołówek szarych w Hanko a temperaturami w maju na trasach wiosennej migracji przez polskie wybrzeże (Ryc. 16; Halkka i inni 2011). Prawdopodobnie muchołówki szare migrujące przez Hanko, na wcześniejszym etapie nie wędrują przez polskie środkowe wybrzeże, jak sugeruje układ ich korelacji terminów wędrówki z temperaturami maja w Europie (Ryc. 16; Halkka i inni 2011). Różnice w korelacji terminów migracji z temperaturami, mogłyby być związane ze zmianami tras migracji wiosennej i jesiennej w rejonie Bałtyku, z roku na rok, ze względu na układ temperatur wiosną i jesienią.



Ryc. 16 (a, b). Korelacja między terminami wiosennego przelotu mucholówek szarych w Hanko, w południowo-zachodniej Finlandii, a miesięcznymi temperaturami według siatki GHCN/CAMS (Global Historical Climatology Network version 2/Climate Anomaly Monitoring System). (a) – korelacja terminów pierwszych 5% wiosennego przelotu z temperaturami w maju, (b) - korelacja terminów pierwszych 50% wiosennego przelotu z temperaturami w maju. Legendy rycin odnoszą się do współczynników korelacji (ujemnych lub dodatnich). Kolorowe części map reprezentują wyłącznie istotne korelacje (test-t dwustronny: $p < 0,1$), ze stopniami swobody równymi liczbie dat (Halkka i inni 2011).

6. Podsumowanie

1. Terminy początku (10% i 25%) jesiennej migracji młodych muchołówek szarych przez stację Bukowo-Kopań na środkowym wybrzeżu Bałtyku uległy przyspieszeniu o 14-16 dni w ciągu 53 lat badań (1966–2018).
2. Brak analogicznego trendu w terminach jesiennej migracji przez stację Mierzeja Wiślana na wschodniej części polskiego wybrzeża, może wynikać z małej liczebności schwytanych osobników młodych w niektórych latach. Brak wieloletniego trendu może być związany z cyklami fluktuacyjnymi w terminach jesiennej migracji oraz ze zmianami terminów wędrówki z roku na rok, w odpowiedzi na zmiany temperatur na lęgowiskach oraz na trasach wiosennej i jesiennej migracji.
3. Im wyższa była temperatura latem na lęgowiskach muchołówki szarej w Fennoskandii, tym wcześniejsza była jesienna migracja młodych ptaków z tego gatunku przez obie stacje na polskim wybrzeżu. Ciepłe lata mogą sprzyjać wcześniejszym i szybszym wzrostom młodych osobników, dzięki czemu wcześniej są one gotowe, żeby opuścić swoje lęgowiska. Różnice w korelacjach z temperaturami danych miesięcy mogą odpowiadać odmiennym proporcjom populacji muchołówek szarych z różnych lęgowisk migrujących przez te stacje.
4. Im wyższa była temperatura wiosną na trasach wiosennej migracji, tym wcześniejszy był początek, ale nie mediana i koniec, jesiennego przelotu młodych muchołówek szarych przez Bukowo-Kopań. Ciepłe wiosny umożliwiają wczesne przybycie osobników dorosłych na lęgowiska wiosną, tym samym temperatury wiosenne są związane z terminem jesiennej migracji ich potomstwa. Ciepłe wiosny na trasie wiosennej migracji powinny powodować przyspieszenie zakończenia migracji młodych ptaków z gatunku, charakteryzującego się typowo jednym lęgiem w roku. Przyspieszenie początku migracji i jego związek z wysokimi temperaturami na trasach wiosennej migracji są także zgodne z takim wyjaśnieniem.

5. Im wyższa była temperatura na trasach wiosennej migracji i na trasach jesiennej migracji, późniejszy był początek, ale wcześniejsze mediana i koniec jesienno- przelotu młodych muchołówek szarych przez Mierzeje Wiślaną. Trudno wytłumaczyć odwrotną zależność między początkiem jesiennej migracji a temperaturami na trasach wiosennej migracji, w porównaniu do stacji Bukowo-Kopań. Wyjaśnieniem mogłyby być odmienne trasy wiosennej migracji przez te stacje lub niestabilne liczebności muchołówek szarych na stacji Mierzeja Wiśłana.
6. Ciepłe wiosny mogą sprzyjać wcześniejszym terminom przybycia i gniazdowania dorosłych muchołówek szarych. W ciepłe lata, młode z wczesnych lęgów, mogłyby wcześniej osiągnąć gotowość do wędrówki. Te połączone efekty umożliwiałyby młodym muchołówkom szarym wczesne rozpoczęcie jesiennej migracji po ciepłej wiośnie i lecie. Jeśli młode pochodzą z jednego lęgu, to ich wczesne dojrzewanie w ciepłe wiosny i lata oraz wczesny odlot z legowisk może też powodować wczesne zakończenie jesiennej migracji, tak jak na Mierzei Wiślanej.
7. Przyspieszony początek jesiennej migracji na Bukowie, skorelowany z temperaturami w południowo-zachodniej Skandynawii, ale bez zmian w medianie i końcu jesienno- przelotu, może wynikać z częstszych prób drugich lęgów u muchołówek szarych na tych legowiskach, jako adaptacji do coraz cieplejszych sezonów wiosennych i letnich.

7. Bibliografia

1. Bairlein, F., Dierschke, J., Dierschke, V., Salewski, V., Geiter, O., Hüppop, K., Köppen, U., Fiedler, W. 2014. Atlas des Vogelzugs - Ringfunde deutscher Brut- und Gastvögel. AULA-Verlag GmbH.
2. Both, C., Visser M. E. 2001. Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature* 411: 296–298.
3. Both C., Artemyev A. V., Blaauw B., Cowie R. J., Dekhuijzen A. J., Eeva T., Enemar A., Gustafsson L., Ivankina E. V., Järvinen A., Metcalfe N. B., Nyholm N. E. I., Potti J., Ravussin P.-A., Sanz J. J., Silverin B., Slater F. M., Sokolov L. V., Török J., Winkel W., Wright J., Zang H., Visser M. E. 2004. Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. *Proceedings of the Royal Society B* 271: 1657–1662.
4. Both C., Bouwhuis S., Lessells C. M., Visser M. E. 2006. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81–83.
5. Both C., Van Turnhout C. A. M., Bijlsma R. G., Siepel H., Van Strien A. J., Foppen R. P. B. 2009. Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. *Proceedings of the Royal Society B* 277: 1259–1266.
6. Both C., Ubels R., Ravussin P.-A. 2019. Life-history innovation to climate change: can single-brooded migrant birds become multiple breeders? *Journal of Avian Biology* 50(5): 1–7.
7. Busse P., Meissner W. 2015. Bird Ringing Station Manual. De Gruyter Open Ltd, Warsaw/Berlin.
8. Bussière E. M. S., Underhill L. G., Altwegg R. 2015. Patterns of bird migration phenology in South Africa suggest northern hemisphere climate as the most consistent driver of change. *Global Change Biology* 21(6): 2179–2190.
9. Carey C. 2009. The impacts of climate change on the annual cycles of birds. *Proceedings of the Royal Society B* 364: 3321–3330.

10. Chodkiewicz T., Neubauer G., Sikora A., Ławicki Ł., Meissner W., Bobrek R., Cenian Z., Bzoma S., Betleja J., Kuczyński L., Moczarska J., Rohde Z., Rubacha S., Wieloch M., Wylegała P., Zielińska M., Zieliński P., Chylarecki P. 2018. Monitoring Ptaków Polski w latach 2016–2018. *Biuletyn Monitoringu Przyrody* 17, s. 70.
11. Chylarecki P., Chodkiewicz T., Neubauer G., Sikora A., Meissner W., Woźniak B., Wylegała P., Ławicki Ł., Marchowski D., Betleja J., Bzoma S., Cenian Z., Górski A., Korniluk M., Moczarska J., Ochocińska D., Rubacha S., Wieloch M., Zielińska M., Zieliński P., Kuczyński L. 2018. Trendy liczebności ptaków w Polsce, s. 290. GIOŚ, Warszawa.
12. Cotton P. A. 2003. Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(21): 12219–12222.
13. Cramp S. (ed.). 1988. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa, The Birds of the Western Palearctic, Vol V, Tyrant Flycatchers to Thrushes*, s. 989–1000. Oxford University Press, Oxford.
14. Cramp S. (ed.). 1992. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa: Warblers v.6: The Birds of the Western Palearctic: Warblers Vol VI*. Oxford University Press, Oxford.
15. Cramp S., Perrins C. M., Brooks D. J., Dunn E., Gillmor R., Hall-Craggs J., Hillcoat B., Hollom P. A. D., Nicholson E. M., Roselaar C. S., Seale W. T. C., Sellar P. J., Simmons K. E. L., Snow D. W., Vincent D., Voous K. H., Wallace D. I. M., Wilson M. G. 1993. *Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa, The Birds of the Western Palearctic, Vol. VII, Flycatchers to Shrikes*, s. 11–24. Oxford University Press, Oxford. New York.
16. Crick H. Q. P., Sparks T. H. 1999. Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399: 423.
17. Demongin L. 2016. *Identification Guide to Birds in the Hand*, s. 314–315. Beauregard-Vendon.
18. Dunn P. 2004. Breeding Dates and Reproductive Performance. *Advances in Ecological Research* 35: 69–87.

19. Franks S. E., Pearce-Higgins J. W., Atkinson S., Bell J. R., Botham M. S., Brereton T. M., Harrington R., Leech D. I. 2018. The sensitivity of breeding songbirds to changes in seasonal timing is linked to population change but cannot be directly attributed to the effects of trophic asynchrony on productivity. *Global Change Biology* 24(3): 957–971.
20. Fransson T., Hall-Karlsson S. 2008. Svensk ringmärkningsatlas (Volym 3 Tättingar). Stockholm.
21. Gibbons D. W., Reid J. B., Chapman R. A. 1993. The New Atlas of Breeding Birds in Britain and Ireland: 1988–1991. London: T. & A.D. Poyser.
22. Gładalski M., Bańbura M., Kaliński A., Markowski M., Skwarska J., Wawrzyniak J., Zieliński P., Bańbura J. 2014. Extreme weather event in spring 2013 delayed breeding time of Great Tit and Blue Tit. *International Journal of Biometeorology* 58(10): 2169–2173.
23. Gordo O. 2007. Why are bird migration dates shifting? A review of weather and climate effects on avian migratory phenology. *Climate Research* 35: 37–58.
24. Halkka A., Lehikoinen A., Velmala W. 2011. Do long-distance migrants use temperature variations along the migration route in Europe to adjust the timing of their spring arrival? *Boreal Environment Research* 16 (suppl. B): 35–48.
25. Halupka L., Halupka K. 2017. The effect of climate change on the duration of avian breeding seasons: a meta-analysis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 284: 20171710.
26. Huin N., Sparks T. H. 2000. Spring arrival patterns of the Cuckoo *Cuculus canorus*, Nightingale *Luscinia megarhynchos* and Spotted Flycatcher *Muscicapa striata* in Britain. *Bird Study* 47(1): 22–31.
27. Hüppop O., Winkel W. 2006. Climate change and timing of spring migration in the long-distance migrant *Ficedula hypoleuca* in central Europe: the role of spatially different temperature changes along migration routes. *Journal of Ornithology* 147: 344–353.

28. Jenni L., Kéry M. 2003. Timing of autumn bird migration under climate change: advances in long-distance migrants, delays in short-distance migrants. *Proceedings of The Royal Society B* 270: 1467–1471.
29. Kirby W., Black K., Pratt S., Bradbury R. 2005. Territory and nest-site habitat associations of Spotted Flycatchers *Muscicapa striata* breeding in central England. *Ibis* 147: 420–424.
30. Lehikoinen A., Lindén A., Karlsson M., Andersson A., Crewe T. L., Dunn E. H., Gregory G., Karlsson L., Kristiansen V., Mackenzie S., Newman S., Røer J. E., Sharpe C., Sokolov L. V., Steinholtz Å., Stervander M., Tirri I.-S., Tjørnløv R. S. 2019. Phenology of the avian spring migratory passage in Europe and North America: Asymmetric advancement in time and increase in duration. *Ecological Indicators* 101: 985–991.
31. Maciąg T. 2017. Wieloletnie trendy liczebności wybranych gatunków wróblowych w trakcie wiosennej i jesiennej migracji przez polskie wybrzeże Bałtyku. Praca magisterska, Stacja Badania Wędrówek Ptaków, Wydział Biologii Uniwersytetu Gdańskiego.
32. Maciąg T., Remisiewicz M., Nowakowski J. K., Redlisiak M., Rosińska K., Stępniewski K., Stępniewska K., Szulc J. 2017. Strona internetowa Stacji Badania Wędrówek Ptaków [online]. Gdańsk: Uniwersytet Gdański, [aktualizacja 2017-07-12], [ostatni dostęp: 10.06-2020].
33. Mason L. R., Green R. E., Howard C., Stephens P. A., Willis S. G., Aunins A., Brotons L., Chodkiewicz T., Chylarecki P., Escandell V., Foppen R. P. B., Herrando S., Husby M., Jiguet F., Kålås J. A., Lindström A., Massimino D., Moshøj C., Nellis R., Paquet J.-Y., Reif J., Sirkiä P. M., Szép T., Florenzano G. T., Teufelbauer N., Trautmann S., Van Strien A., Van Turnhout C. A. M., Voříšek P., Gregory R. D. 2019. Population responses of bird populations to climate change on two continents vary with species' ecological traits but not with direction of change in climate suitability. *Climatic Change* 157: 337–354.
34. Miles W. T. S., Bolton M., Davis P., Dennis R., Broad R., Robertson I., Riddiford N. J., Harvey P. V., Riddington R., Shaw D. N., Parnaby D., Reid J. M. 2017. Quantifying full phenological event distributions reveals simultaneous advances,

- temporal stability and delays in spring and autumn migration timing in long-distance migratory birds. *Global Change Biology* 23: 1400–1414.
35. Møller A. P., Rubolini D., Lehikoinen E. 2008 Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105(42): 16195–16200.
 36. Newton I. 2008. *The Migration Ecology of Birds*. Academic Press, London.
 37. Ouwehand J., Both C. 2017. African departure rather than migration speed determines variation in spring arrival in pied flycatcher. *Journal of Animal Ecology* 86: 88–97.
 38. Parmesan C. 2006. Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637–69.
 39. Pinszke A. 2019. Influence of temperatures on breeding grounds and migration routes on timing of autumn migration of Garden Warbler *Sylvia borin* and Lesser Whitethroat *S. curruca* at the Baltic coast. *Praca magisterska, Stacja Badania Wędrówek Ptaków, Wydział Biologii Uniwersytetu Gdańskiego*.
 40. Redlisiak M., Remisiewicz M., Nowakowski J. K. 2018 Long-term changes in migration timing of Song Thrush *Turdus philomelos* at the southern Baltic coast in response to temperatures on route and at breeding grounds. *International Journal of Biometeorology* 62(9): 1595–1605.
 41. Remisiewicz M., Underhill L. G. 2020. Climatic variation in Africa and Europe has combined effects on timing of spring migration in a long-distance migrant Willow Warbler *Phylloscopus trochilus*. *PeerJ* 8:e8770.
 42. Saino N., Ambrosini R., Rubolini D., Hardenberg J., Provenzale A., Hüppop K., Hüppop O., Lehikoinen A., Lehikoinen E., Rainio K., Romano M., Sokolov L. 2011. Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B* 278: 835–842.
 43. Schmaljohann H., Both C. 2017. The limits of modifying migration speed to adjust to climate change. *Nature Climate Change* 7: 573–576.

44. Simmons A. J., Berrisford P., Dee D. P., Hersbach H., Hirahara S., Thépaut J.-N. 2017. A reassessment of temperature variations and trends from global reanalyses and monthly surface climatological datasets. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 143: 101–119.
45. Sokolov L. V., Markovets M. Y., Morozov Y. G. 1999. Long-term dynamics of the mean date of autumn migration in passerines on the Courish Spit of the Baltic Sea. *Avian Ecology and Behaviour* 2: 1–18.
46. Sparks T. H., Menzel A. 2002. Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology* 22: 1715–1725.
47. Svensson L. 1992. Identification Guide to European Passerines, s.222–223. British Trust for Ornithology. Stockholm.
48. Tomiałojć L., Stawarczyk T. 2003. Awifauna Polski. Rozmieszczenie, liczebność i zmiany, Tom II, s. 667–668. PTPP „pro Natura”. Wrocław.
49. Tomotani B. M., van der Jeugd H., Gienapp P., de la Hera I., Pilzecker J., Teichmann C., Visser M. E. 2018. Climate change leads to differential shifts in the timing of annual cycle stages in a migratory bird. *Global Change Biology* 24: 823–835.
50. Tøttrup, A. P., Thorup, K. and Rahbek, C. 2006a. Changes in timing of autumn migration in North European songbird populations. *Ardea* 94(3): 527–536.
51. Tøttrup, A. P., Thorup, K. and Rahbek, C. 2006b. Patterns of change in timing of spring migration in North European songbird populations. *Journal of Avian Biology* 37: 84–92.
52. Tryjanowski P., Kuźniak S., Sparks T. 2002. Earlier arrival of some farmland migrants in western Poland. *Ibis* 144: 62–68.
53. Usui T., Butchart S. H. M., Phillimore A. B. 2017. Temporal shifts and temperature sensitivity of avian spring migratory phenology: a phylogenetic meta-analysis. *Journal of Animal Ecology* 86: 250–261.

54. Valkama, J., Saurola, P., Lehtikoinen, A., Lehtikoinen, E., Piha, M., Sola, P., Velmala, W. 2014. The Finnish Bird Ringing Atlas, Volume 2. Finnish Museum of Natural History LUOMUS & Ministry of Environment. Helsinki.
55. Van Buskirk J., Mulvihill R. S., Leberman R. C. 2009. Variable shifts in spring and autumn migration phenology in North American songbirds associated with climate change. *Global Change Biology* 15: 760–771.
56. Van de Kam J., Ens B., Piersma T., Zwarts L. 2004. Shorebirds. An Illustrated Behavioural Ecology, s. 114. KNNV, Utrecht.
57. Vickery J. A., Ewing S. R., Smith K. W., Pain D. J., Bairlein F., Škorpilová J., Gregory R. D. 2014. The decline of Afro-Palaeartic migrants and an assessment of potential causes. *Ibis*: 156: 1–22.
58. Wang C., Cao R., Chen J., Rao Y., Tang Y. 2015. Temperature sensitivity of spring vegetation phenology correlates to within-spring warming speed over the Northern Hemisphere. *Ecological Indicators* 50: 62–68.
59. Wood S. 2017. Package ‘mgcv’. <https://cran.r-project.org/package=mgcv>
60. Zalakevicius M., Bartkeviciene G., Raudonikis L., Janulaitis J. 2006. Spring arrival response to climate change in birds: a case study from eastern Europe. *Journal of Ornithology* 147: 326–343.

8. Załączniki

Tabela Z1. Korelacje średnich temperatur danego miesiąca między stacjami meteorologicznymi na trasach jesiennej migracji mucholówek szarych. „Nieistotne” – korelacje dla których $p > 0,05$, wszystkie pozostałe współczynniki korelacji były istotne statystycznie.

Miesiąc	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
Stacja	Bergen			
Gardermoen	0,6625	0,7481	0,8478	0,7985
Skovde	0,6593	0,7373	0,8219	0,7168
Kalmar	0,5741	0,6543	0,7370	0,7135
Sztokholm	0,5605	0,6629	0,7966	0,7522
Juupajoki	0,3439	0,5524	0,6241	0,5497
Kuusamo	<i>nieistotne</i>	0,3373	0,3560	0,4163
Umea	0,5396	0,5719	0,7137	0,6500
	Gardermoen			
Bergen	0,6625	0,7481	0,8478	0,7985
Skovde	0,9464	0,9472	0,9464	0,9509
Kalmar	0,8131	0,8856	0,8602	0,8821
Sztokholm	0,7874	0,8781	0,9121	0,9330
Juupajoki	0,5301	0,6789	0,6631	0,7653
Kuusamo	0,3661	0,4539	0,3837	0,6352
Umea	0,7066	0,7047	0,7331	0,7924
	Skovde			
Bergen	0,6593	0,7373	0,8219	0,7168
Gardermoen	0,9464	0,9472	0,9464	0,9509
Kalmar	0,8766	0,9436	0,9412	0,9346
Sztokholm	0,8708	0,9250	0,9586	0,9615
Juupajoki	0,6010	0,7372	0,6883	0,7926
Kuusamo	0,3936	0,4699	0,3556	0,6441
Umea	0,7113	0,6885	0,7335	0,7660
	Kalmar			
Bergen	0,5741	0,6543	0,7370	0,7135
Gardermoen	0,8131	0,8856	0,8602	0,8821
Skovde	0,8766	0,9436	0,9412	0,9346
Sztokholm	0,8285	0,9508	0,9347	0,9329
Juupajoki	0,5596	0,7832	0,7177	0,7716
Kuusamo	0,4334	0,5134	0,3660	0,6150
Umea	0,6564	0,6858	0,7161	0,7187
	Sztokholm			
Bergen	0,5605	0,6629	0,7966	0,7522
Gardermoen	0,7874	0,8781	0,9121	0,9330
Skovde	0,8708	0,9250	0,9586	0,9615
Kalmar	0,8285	0,9508	0,9347	0,9329
Juupajoki	0,7783	0,8450	0,8077	0,8634
Kuusamo	0,6126	0,5701	0,4858	0,7431
Umea	0,8469	0,7696	0,8256	0,8477

Tabela Z2. Korelacje średnich temperatur danego miesiąca między stacjami meteorologicznymi na lęgowskich muchołówek szarych. Oznaczenia jak w Tabeli Z1.

Miesiąc	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień
Stacja	Juupajoki			
Bergen	0,3439	0,5524	0,6241	0,5497
Gardermoen	0,5301	0,6789	0,6631	0,7653
Skovde	0,6010	0,7372	0,6883	0,7926
Kalmar	0,5596	0,7832	0,7177	0,7716
Sztokholm	0,7783	0,8450	0,8077	0,8634
Kuusamo	0,8664	0,8039	0,7755	0,9069
Umea	0,8620	0,8719	0,8903	0,9135
	Kuusamo			
Bergen	<i>nieistotne</i>	0,3373	0,3560	0,4163
Gardermoen	0,3661	0,4539	0,3837	0,6352
Skovde	0,3936	0,4699	0,3556	0,6441
Kalmar	0,4334	0,5134	0,3660	0,6150
Sztokholm	0,6126	0,5701	0,4858	0,7431
Juupajoki	0,8664	0,8039	0,7755	0,9069
Umea	0,8008	0,8285	0,7572	0,8631
	Umea			
Bergen	0,5396	0,5719	0,7137	0,6500
Gardermoen	0,7066	0,7047	0,7331	0,7924
Skovde	0,7113	0,6885	0,7335	0,7660
Kalmar	0,6564	0,6858	0,7161	0,7187
Sztokholm	0,8469	0,7696	0,8256	0,8477
Juupajoki	0,8620	0,8719	0,8903	0,9135
Kuusamo	0,8008	0,8285	0,7572	0,8631

Tabela Z3. Korelacje średnich temperatur danego miesiąca między stacjami meteorologicznymi na trasach wiosennej migracji mucholówek szarych. Oznaczenia jak w Tabeli Z1.

Miesiąc	Kwiecień	Maj
Stacja	Szeged	
Nisz	0,9163	0,8461
Brindisi	0,6426	0,7820
Larissa	0,7138	0,6415
Edirne	0,7123	0,6049
	Brindisi	
Larissa	0,6401	0,7017
Edirne	0,5952	0,6112
Szeged	0,6426	0,7820
Nisz	0,6537	0,7592
	Edirne	
Brindisi	0,5952	0,6112
Larissa	0,9248	0,8651
Szeged	0,7123	0,6049
Nisz	0,8495	0,7608
	Larissa	
Brindisi	0,6401	0,7017
Szeged	0,7138	0,6415
Nisz	0,8398	0,7337
Edirne	0,9248	0,8651