

Autoreferat

Załącznik nr 2 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

1. *Imię i nazwisko:* **Katarzyna Szyga-Pluta**

2. *Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.*

19.04.2002 – stopień doktora Nauk o Ziemi w zakresie geografii uzyskany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Tytuł rozprawy: Częstość występowania rodzajów chmur w Polsce Północno-Zachodniej
Promotor: prof. dr hab. Alojzy Woś

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Andrzej Kędziora (Akademia Rolnicza w Poznaniu),
prof. UAM dr hab. Jan Tamulewicz (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)

13.06.1990 – tytuł magistra geografii ze specjalnością hydrologia, meteorologia i klimatologia uzyskany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tytuł pracy: Charakterystyka bilansu radiacyjnego i jego składowych wybranych ekosystemów Mierzei Łebskiej

Promotor: prof. dr hab. Alojzy Woś

3. *Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.*

1.12.1989-30.09.1992 – Biblioteka Uniwersytecka UAM, Pracownia Kartograficzna

15.11.1993-30.06.2002 – asystent, Zakład Klimatologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (w okresie

18.08.1997-30.11.1997 – przerwa w pracy związana z urlopem macierzyńskim)

od 1.07.2002 – adiunkt, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (w okresie

30.11.2004-30.09.2007 – przerwa w pracy związana z urlopem macierzyńskim i wychowawczym)

4. *Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).*

Zmiany terminów występowania oraz cech termicznych i pluwialnych okresu wegetacyjnego w Polsce na tle zmian klimatycznych w środkowej Europie

Na osiągnięcie naukowe składa się pięć recenzowanych publikacji naukowych przygotowanych i opublikowanych po nadaniu stopnia naukowego doktora. Artykuły zostały wydane w czasopismach znajdujących się na liście Journal Citation Reports (JCR) i stanowią cykl spójny pod względem tematyki i metod badawczych.

[A1] **Szyga-Pluta K.**, Tomczyk A.M., Bednorz E., Piotrowicz K., 2022. Assessment of climate variations in the growing period in Central Europe since the end of eighteenth century. *Theoretical and Applied Climatology* 149, 1785-1800. MEiN 70 pkt., IF 3,518. Wkład pracy: 70%.

[A2] **Szyga-Pluta K.**, 2022. Assessment of Changing Agroclimatic Conditions in Poland Based on Selected Indicators. *Atmosphere* 13(8), 1232. MEiN 70 pkt., IF 3,110. Wkład pracy: 100%.

[A3] Tomczyk A.M., **Szyga-Pluta K.**, 2019. Variability of thermal and precipitation conditions in the growing season in Poland in the years 1966–2015. *Theoretical and Applied Climatology* 135(3–4), 1517-1530. MNiSW 70 pkt., IF 3,518. Wkład pracy: 50%.

[A4] **Szyga-Pluta K.**, Tomczyk A.M., 2019 – Anomalies in the length of the growing season in Poland in the period 1966–2015. *Időjárás* 123(3), 391-408. MNiSW 40 pkt.. Wkład pracy: 70%.

[A5] Tomczyk A.M., **Szyga-Pluta K.**, Bednorz E., 2019 – The effect of macro-scale circulation types on the length of the growing season in Poland. *Meteorology and Atmospheric Physics* 131(5), 1315-1325. MNiSW 70 pkt., IF 2,511. Wkład pracy: 40%.

Sumaryczny Impact Factor osiągnięcia naukowego (zgodnie z rokiem opublikowania): 12,697.
Sumaryczna liczba punktów za publikacje składające się na osiągnięcie naukowe według punktacji MEiN (zgodnie z rokiem opublikowania): 320.

Wprowadzenie

Współczesne zmiany klimatu mają coraz większy wpływ na wiele aspektów życia człowieka i środowisko przyrodnicze. Obserwowany i szeroko komentowany wzrost temperatury powietrza (IPCC 2021) determinuje również rozwój roślinności, w tym znacząco wpływa na początek, koniec oraz długość sezonu wegetacyjnego, których zmiany są uznawane za jeden z najlepszych wskaźników dynamiki wegetacji i długoterminowych biologicznych skutków zmian klimatu (Peng i in. 2017; Duarte i in. 2018; Cui i Shi 2021). Tendencja do wzrostu temperatury w okresie wegetacyjnym wystąpiła m.in. w Polsce (Kaszewski 2010; Bochenek i in. 2013; Radzka 2014a; Ziernicka-Wojtaszek in. 2015). Konsekwencją wzrostu temperatury powietrza jest wydłużenie okresu wegetacyjnego w Europie, co wpływa na modyfikację faz fenologicznych poszczególnych roślin (Menzel i Fabian 1999; Chmielewski i Rötzer 2001; Chmielewski i in. 2004). Wzrost temperatury powietrza koreluje z innymi cechami klimatycznymi i środowiskowymi, a przede wszystkim nie pozostaje bez reakcji w zarówno naturalnych, jak i zagospodarowanych ekosystemach na różnych szczeblach oraz w rolnictwie (Bootsma 1994; Karing i in. 1999; Schwartz i in. 2006).

Specyficzne warunki klimatyczne panują w mieście, gdzie dominują powierzchnie betonowe i asfaltowe wpływające na podwyższenie temperatury powietrza (intensyfikacja miejskiej wyspy ciepła) i spadek wilgotności przez szybsze parowanie wody z takich powierzchni. Wraz z obserwowanym wzrostem długości okresu wegetacyjnego przekłada się to na konieczność dostosowania szaty roślinnej również na obszarach miejskich do szybko zmieniających się warunków klimatycznych. Badania na terenach miejskich wykazują, że drzewa rosnące w parkach cechują się na ogół dłuższym okresem wegetacji niż na terenach przyulicznych (Wysocki 2019). Utrzymanie więc zieleni miejskiej w dobrej kondycji przy obserwowanym wydłużeniu okresu wegetacyjnego wymaga zmiany strategii, np. zamiany trawników, które wymagać będą wielokrotnego koszenia w łąki kwietne i/lub zwiększenia kosztów na jej utrzymanie (np. dodatkowe nawadnianie, koszenie, pielęgnację). Takie rozwiązania są już wprowadzane, a elementy zielonej infrastruktury stosowane są jako instrumenty do (samo)regulacji klimatu miasta (Kus i Felski 2018; Naumann i in. 2020).

W literaturze naukowej badania nad zmianami okresu wegetacyjnego skupiają się najczęściej na określeniu tendencji zmian i/lub ich prognozach uwzględniając poszczególne charakterystyki tego sezonu oraz wskazują na konieczność adaptacji upraw do tych zmian (Chmielewski i Rötzer 2002; Chmielewski i in. 2004; Linderholm 2006; Jeong i in. 2011; Kolářová i in. 2014; Xia i in. 2015; Cui i in. 2017; Vega i in. 2020; Koźmiński i in. 2021; Zhu

i in. 2021). Autorzy wykorzystują w swoich badaniach zwykle kilkudziesięcioletnie serie pomiarów temperatury powietrza (tzw. termiczny okres wegetacyjny), obserwacje fenologiczne lub zdjęcia satelitarne (Walther i Linderholm 2006; Cui i Shi 2021). Stwierdzono m. in., że w latach 1901-2009 na półkuli północnej długość okresu wegetacyjnego wzrastała, głównie z powodu wcześniejszej daty początku, ale tendencja tych zmian była mniejsza niż w drugiej połowie XX wieku (Xia i in. 2013). W latach 1950-2011 na półkuli północnej (>45°N) okres wegetacyjny wydłużył się w Euroazji o 12,6 dni, natomiast w Ameryce Północnej zmiana była mniejsza (6,2 dni) (Barichivich i in. 2013). Badania Walthera i Linderholma (2006) wskazują, że w XX wieku w rejonie Morza Bałtyckiego okres wegetacyjny wydłużył się o 20 dni (o 12 dni wcześniejsza data początku i 8 dni późniejszy koniec sezonu). Natomiast w Polsce zmianę tę określono na podstawie danych z lat 1971-2010 na 4-8 dni na 10 lat (Tomczyk i Szyga-Pluta 2016), a w okresie 1971-2020 w granicach 5-7 dni na dekadę, przy czym większe tempo wydłużania okresu wegetacyjnego zaobserwowano na zachodzie kraju (Kozłowski i in. 2021). Wyniki te potwierdzały wcześniej określoną tendencję do wydłużania okresu wegetacyjnego w Polsce w wybranych regionach Polski (Żmudzka i Dobrowolska 2001; Nieróbca i in. 2013; Krużel i in. 2015).

Wiele gatunków roślin i zwierząt rozszerzyło swoje zasięgi występowania w kierunku biegunów w ciągu ostatniego stulecia (Parmesan i Yohe 2003; Haggerty i Mazer 2008). Wydłużenie sezonu wegetacyjnego może zatem powodować konkurencyjne relacje między roślinami w różnych ekosystemach (Kolářová i in. 2014). Przewiduje się, że niektóre gatunki drzew i lasów będą zwiększały swój zasięg (np. dąb), a inne (klon, buk, brzoza, świerk, jodła) – zmniejszały (Ryan i in. 2008; Fagre i in. 2009). Wydłużenie okresu wegetacyjnego będzie również przekładało się na zmianę wzorców migracji ptaków wędrownych (Cotton 2003), terminu składania jaj i rozrodu (Crick i Sparks 1999), inwazję owadów oraz przetrwanie wirusów i bakterii (Parmesan i Yohe 2003; Haggerty i Mazer 2008; Janetos i in. 2008). Badania Parmesan i Yohe (2003) oraz Roota i in. (2003) dowodzą, że to właśnie naturalna roślinność i zwierzęta są lepszymi wskaźnikami zmian w okresie wegetacyjnym niż uprawy. Na te ostatnie mogą mieć bowiem wpływ zmiany w praktykach gospodarowania.

Wzrost temperatury w dużym stopniu determinuje rozwój roślinności, gdyż to właśnie warunki termiczne są jednym z decydujących czynników środowiskowych odpowiadających za rozmieszczenie upraw (Cross i Zuber 1972; Russelle i in. 1984; Gordon i Bootsma 1993). Ocieplanie się klimatu Polski sprzyja rozwojowi upraw ciepłolubnych. Szczególnie sprzyja temu wydłużanie się okresów z temperaturą powyżej 10°C, czyli okresów intensywnej wegetacji oraz dojrzewania (Skowera i Kopeć 2008; Żmudzka 2012; Tomczyk i Szyga-Pluta

2017). Stwierdzone zmiany warunków termicznych mogą mieć jednak także skutki niekorzystne dla rolnictwa (Nieróbca 2009). Wzrastająca temperatura powietrza może sprzyjać rozwojowi chwastów ciepłolubnych, szkodników czy pojawianiu się nowych chorób roślin. Pozytywnym aspektem wydłużania się i wcześniejszych dat rozpoczynania się ciepłych pór roku jest możliwość uprawy roślin o większych wymaganiach cieplnych jak soja, słonecznik i kukurydza. Wydłużenie okresu wegetacyjnego pozwoli na wprowadzenie nowych upraw, dla których do tej pory okres wegetacyjny był zbyt krótki. Zachodzące zmiany umożliwiają wprowadzenie uprawy winorośli (Kopeć 2009). Ostatnie 10 lat to okres intensywnego powstawania winnic na terenie naszego kraju. Scenariusze zmian klimatu wskazują, że warunki dla ich rozwoju będą coraz lepsze (Wibig 2020).

Zmienione zasoby termiczne implikują sposoby adaptacji rolnictwa do wszelkich możliwych zmian środowiskowych (Karing i in. 1999). Miarą zasobów termicznych są wskaźniki agroklimatyczne, takie jak suma aktywnych temperatur (sum of active temperatures, SAT), stopniodni okresu wegetacyjnego (growing degree days, GDD) oraz indeks szerokości geograficznej i temperatury (Latitude-Temperature Index, LTI). Są to ściśle powiązane z rozwojem roślin i bardzo przydatne w agronomii zmienne. Znając je oraz na bieżąco monitorując temperaturę powietrza podczas sezonu, można z dużą dokładnością planować optymalny czas wykonywania poszczególnych zabiegów agrotechnicznych. Od terminu rozpoczęcia sezonu wegetacji w dużej mierze zależy przebieg faz rozwojowych roślin uprawnych i możliwości optymalnego wykonania prac polowych (Węgrzyn 2007). Długość okresu wegetacyjnego ma zasadnicze znaczenie dla doboru i warunków rozwoju roślin uprawnych, a poprzez to wpływa na wielkość produkcji roślinnej oraz determinuje racjonalizację gospodarki żywnościowej wszystkich państw i regionów na Ziemi (Mager i Kopeć 2010; Źarski i in. 2012; Źmudzka 2012).

Prognozuje się, że na większości obszaru Europy nastąpi dalsza migracja stref klimatycznych na północ, a zmienione warunki klimatyczne zmodyfikują zasoby agroklimatyczne. W najbliższej przyszłości rolnictwo będzie ewoluować poprzez dostosowywanie się do zmian klimatycznych (Reddy i Hodges 2000; Olesen i in. 2011; Mall i in. 2006, Trnka i in. 2011). Istnieje możliwość zmniejszania się rolniczej efektywności opadów atmosferycznych na skutek intensywniejszego parowania spowodowanego wzrostem temperatury powietrza przy braku wyraźnych tendencji opadów atmosferycznych (Ziarnicka-Wojtaszek 2009). W strefie umiarkowanej może to być przyczyną ograniczenia wzrostu roślin z powodu m.in. występowania na zmianę na danym obszarze zarówno niedoborów jak i nadmiarów wody oraz częstsze występowanie intensywnych susz i niedoborów opadów

w okresie wegetacyjnym (Førland i in. 2004; Pińskwar 2010; Szwed i in. 2010; Radzka 2014b; Jiao i in. 2021). Na początku XX wieku zarysowała się tendencja do spadku udziału opadów letnich w sumie rocznej, zgodna z projekcjami IPCC, a sumy opadów atmosferycznych wysoce istotnie wpływały na wysokość plonów wybranych upraw rolniczych (Żarski i in. 2014). Zmniejszenie produktywności niektórych upraw może być skutkiem stresu gorąca oraz pogarszającego się salda wodnego, m.in. ziemniaków (Rykaczewska 2015) czy ryżu (Peng i in. 2004). Jaggard i in. (2007) ocenili wpływ zmian klimatu na plony buraków w Wielkiej Brytanii i stwierdzili, że zmiany pogodowe, zwłaszcza na początku sezonu wegetacyjnego, powodują poprawę plonów. Przesunięcie sezonu wegetacyjnego o 10 do 14 dni spodziewane w ciągu najbliższych 30 lat, według m.in. Eitzingera i in. (2013), byłoby bezprecedensowe w kontekście wyników badań Brázdila i in. (2018) dotyczących cyklu agrarnego na przestrzeni ostatnich pięciu stuleci, wskazujące na skalę zmian klimatu uznawaną za prawdopodobną. W kolejnych dekadach migracja stref agroklimatycznych w Europie Wschodniej może osiągnąć dwukrotnie większą prędkość od obserwowanej w okresie 1975-2016. Kilka regionów śródziemnomorskich może utracić zdolność do uprawy określonych roślin na rzecz nowych obszarów rolniczych Europy Północnej (Ceglar i in. 2019). Ciepłe sezony wegetacyjne w Finlandii są przyczyną modyfikacji czasowych i przestrzennych upraw i ich odmian (Peltonen-Sainio i Jauhiainen 2020). Jednakże Ceglar i in. (2019) wskazują również, że potencjalne korzyści z wydłużenia termicznego sezonu wegetacyjnego w północnej i wschodniej Europie są często równoważone przez ryzyko późnych przymrozków oraz zwiększone ryzyko wczesnowiosennych i letnich upałów. Według Trnki i in. (2011) zarówno tempo, jak i skala przesuwania się stref agroklimatycznych są zdumiewające, gdyż do 2020 roku (przy założeniu górnego przedziału prognoz zmian klimatu) przewiduje się, że tylko 20-38% gruntów ornych w analizowanym regionie pozostanie w tym samym agroklimacie, a do 2050 roku może to być mniej niż 2%.

Jednym z najważniejszych czynników kształtujących warunki pogodowe i klimatyczne jest cyrkulacja atmosferyczna (Niedźwiedź 1981; Yarnal 1993). Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na zmiany wybranych elementów klimatu w Europie, w tym temperatury powietrza, był przedmiotem badań Trigo i in. (2002). Jaagus i in. (2003) analizowali oddziaływanie Oscylacji Północnoatlantyckiej i Oscylacji Arktycznej (AO) na zróżnicowanie przestrzenne i czasowe termicznych okresów na Nizinie Wschodnioeuropejskiej. Zależność zmienności parametrów okresu wegetacyjnego w Finlandii od makroskalowych typów cyrkulacji badali Irannezhad i Kløve (2015). Według Marsza i Żmudzkiej (1999) zmienność wskaźnika NAO objaśnia zmienność początku i długości okresu

wegetacyjnego w Polsce. Wiele opracowań opartych na obserwacjach fenologicznych wskazuje na wcześniejszy termin początku okresu wegetacyjnego w drugiej połowie XX wieku, którego przyczyną było ocieplenie związane z Oscylacją Północnoatlantycką (D'Odorico i in. 2002; Stenseth i in. 2002; Menzel i in. 2003; Aasa i in. 2004).

Przyszłe scenariusze agroklimatyczne opracowywane na podstawie globalnych modeli wskazują, że obserwowane trendy mogą jeszcze wzrosnąć (Qian i Gameda 2010). W prognozach wydłużenie okresu wegetacyjnego waha się od 15-30 dni w bliskiej przyszłości do nawet 60 dni pod koniec XXI wieku przy scenariuszu emisji RCP8.5 (Wibig 2020; Graczyk i in. 2021). Trudno jednoznacznie przewidzieć przyszły stan agroklimatu i wynikający z tego poziom produkcji rolnej, gdyż niezależnie od tendencji globalnych, rola czynników lokalnych będzie znacząca (Szwejkowski i in. 2017).

Wobec zachodzących zmian klimatu, mających niewątpliwy wpływ na zmiany cech okresu wegetacyjnego potrzebne są badania stanu aktualnego i tendencji zmian okresu wegetacyjnego w różnych skalach przestrzennych. W licznych zbiorze publikacji można odnaleźć pewne nieporuszone dotychczas szerzej kwestie lub takie, które na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wymagają aktualizacji. Zasadnym było w ramach osiągnięcia naukowego podjęcie szczegółowych badań dotyczących zróżnicowania okresu wegetacyjnego w dłuższym okresie, a także zbadanie szczegółowo warunków termicznych i opadowych, jak i tendencji tych zmian. Ważnym etapem badań wydaje się określenie zarówno przyczyn, jak i warunków cyrkulacyjnych okresu wegetacyjnego.

Cel badań

Głównym celem badań była charakterystyka okresu wegetacyjnego w Polsce oraz jego uwarunkowań cyrkulacyjnych na tle wieloletnich zmian w środkowej Europie.

Na osiągnięcie powyższego celu składała się realizacja celów cząstkowych:

- określenie czasowej i przestrzennej zmienności występowania okresu wegetacyjnego,
- określenie warunków termicznych i opadowych okresu wegetacyjnego,
- określenie tendencji zmian analizowanych charakterystyk okresu wegetacyjnego (wskaźników agroklimatycznych),
- określenie częstości występowania typowych i anomalnych okresów wegetacyjnych,
- określenie wpływu makroskalowych typów cyrkulacji na termin początku i końca okresu wegetacyjnego.

Dane źródłowe i metody badań

W pracy [A1] badania przeprowadzono na podstawie wartości średniej miesięcznej temperatury powietrza z 3 stacji w środkowej Europie: Kraków, Praga i Wiedeń. Do analizy wybrano najdłuższy dostępny i równy dla wszystkich stacji okres, obejmujący lata 1792-2020. Dane z Pragi pozyskano z narodowej służby meteorologicznej, tj. Czech Hydrometeorological Institute. Dane z Krakowa pochodzą ze stacji naukowej Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Z kolei dane z Wiednia pozyskano z ogólnodostępnych baz Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region (HISTALP). Wykorzystane dane były weryfikowane pod względem jakości i jednorodności.

W pracy [A2] wykorzystano dane meteorologiczne z 20 stacji w Polsce należących do sieci obserwacyjnej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) z pominięciem obszarów górskich. Analizą objęto okres 1966-2020. Podstawą obliczeń były wartości średniej dobowej temperatury powietrza mierzonej na 2 m n.p.g.

W pracach [A3-A5] podstawę opracowania stanowiły dobowe wartości średniej temperatury powietrza oraz dobowe sumy opadów z okresu 1966-2015 pozyskane dla 30 stacji w Polsce. Dane zostały udostępnione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

Ponadto w pracy [A5] wykorzystano miesięczne indeksy pięciu typów cyrkulacji, takich jak Oscylacja Arktyczna (Arctic Oscillation, AO), Oscylacja Północnoatlantycka (North Atlantic Oscillation, NAO), typ Wschodnioatlantycki (East Atlantic, EA), typ Wschodnioeuropejski (East Atlantic/Western Russia, EA/WR), typ Skandynawski (Scandinavia, SCAND). Dane dla lat 1966-2015 pozyskano z baz danych Climate Prediction Center NOAA.

Na podstawie powyższych danych w pierwszej kolejności wyznaczono daty początku i końca okresu wegetacyjnego, który zdefiniowano jako okres ze średnią dobową temperaturą powietrza $\geq 5^{\circ}\text{C}$ [A1-A5]. Przyjęta definicja była stosowana wcześniej w licznych badaniach (Carter 1998; Skaugen i Tveito 2004; Linderholm i in. 2008; Żmudzka 2012; Radzka 2013). Wyznaczenia terminów rozpoczęcia i zakończenia powyższego okresu dokonano przy pomocy wzorów matematycznych zaproponowanych przez Gumińskiego (1948). W metodzie tej przyjmuje się następujące założenia: temperatura średnia miesięczna przypada na 15. dzień

miesiąca, każdy miesiąc ma 30 dni i zmiany temperatury z miesiąca na miesiąc zachodzą równomiernie.

Wykorzystane wzory:

$$x = 30 \frac{tp-t1}{t2-t1} \text{ dla rozpoczęcia okresu wegetacyjnego,}$$

$$x = 30 \frac{t1-tp}{t1-t2} \text{ dla zakończenia okresu wegetacyjnego,}$$

gdzie:

tp – temperatura proggu;

$t1$ – temperatura średnia w miesiącu poprzedzającym temperaturę proggu;

$t2$ – temperatura średnia w miesiącu następującym po temperaturze proggu;

x – liczba dni dzieląca dzień z temperaturą proggu od 15. dnia miesiąca poprzedzającego.

Wyliczoną na podstawie powyższych wzorów liczbę dni dodaje się do 15. dnia miesiąca poprzedzającego temperaturę proggu. Jeżeli poszukiwana liczba jest większa od 15, dodając należy uwzględnić rzeczywistą liczbę dni w danym miesiącu. Uzyskana data jest początkiem lub końcem wydzielonego okresu. Powyższa metoda jest powszechnie przyjmowana przy wyznaczaniu okresu wegetacyjnego oraz termicznych pór roku zarówno dla okresu wieloletniego, jak i poszczególnych lat (Kossowska-Cezak 2005; Skowera i Kopeć 2008; Szyga-Pluta 2011a; Czernecki i Miętus 2017; Tomczyk i Szyga-Pluta 2018), a uzyskane wyniki są porównywalne z rezultatami otrzymanymi np. metodą Huculaka i Makowca (Kępińska-Kasprzak i Mager 2015), czy też na bazie danych satelitarnych (Bartoszek i Siłuch 2015). W kolejnym kroku obliczona została długość okresu wegetacyjnego w poszczególnych latach.

Następnie określono zmiany w rozpoczęciu i zakończeniu oraz długości okresu wegetacyjnego w badanym wieloleciu. Kierunek i tempo zmian oceniono przy użyciu regresji liniowej, a istotność trendów sprawdzono testem t-Studenta na poziomie 0,05 [A1]. Podczas badań sprawdzono punkty zmiany trendu [A1]. Do oszacowania optymalnych załamań w trendzie szeregów długookresowych, tj. lat wskazujących na zmianę kierunku lub intensywności trendu w krótszych okresach, posłużono się “strucchange” R package (Zeileis i in. 2002), gdzie zastosowano procedurę zaproponowaną przez Baia i Perrona (1998). Następnie dla wydzielonych podokresów określono kierunek i tempo zmian analizowanych parametrów.

W celu określenia zmian w rozpoczęciu i zakończeniu okresu wegetacyjnego oraz jego długości w badanym wieloleciu w pracach [A2-A5] zastosowano nieparametryczny test

Manna-Kendalla, wykrywający trend w szeregach czasowych. Siłę tendencji charakterystyk w wieloleciu wyznaczono nieparametryczną metodą Sena (Salmi i in. 2002).

W pracy [A1] przeprowadzono klasyfikację terminów rozpoczęcia i zakończenia oraz długości wyznaczonych okresów wegetacyjnych w oparciu o wartość odchylenia standardowego w odniesieniu do okresu referencyjnego 1961-1990. Klasyfikacja ta została przeprowadzona dla każdej stacji indywidualnie dla daty początku, daty zakończenia oraz długości okresu wegetacyjnego. Następnie określono częstość występowania okresów wegetacyjnych w poszczególnych klasach. Aby rozpoznać siłę obu relacji, między długością okresu wegetacyjnego a jego datą początkową i końcową, obliczono współczynnik korelacji między datą rozpoczęcia okresu wegetacyjnego a jego długością, a także datą zakończenia i długością okresu wegetacyjnego. Ponadto podjęto próbę rozpoznania dominujących wzorców występowania okresu wegetacyjnego, biorąc pod uwagę jego charakterystyki czasowe. Zastosowano metodę grupowania hierarchicznego obiektów wielocechowych Warda (Ward 1963; Wilks 2011), gdzie grupowanymi obiektami były lata, a zmiennymi – data rozpoczęcia, długość i data zakończenia okresu wegetacyjnego. Klastrowanie przeprowadzono dla każdej z trzech stacji osobno i po wyodrębnieniu różnych wzorców przebiegu okresu wegetacyjnego przeanalizowano ich występowanie w okresie 1792-2020.

W pracy [A2] w pierwszym etapie dokonano analizy rozkładu przestrzennego średniej temperatury powietrza w okresie od kwietnia do października, dla którego obliczono wskaźniki agroklimatyczne oraz tendencję ich zmian. W opracowaniu wykorzystano trzy wskaźniki agroklimatyczne opisujące warunki termiczne: SAT (Sum of Active Temperatures), GDD (Growing Degree Days) i LTI (Latitude-Temperature Index). Na podstawie obliczonych wskaźników dla poszczególnych stacji dokonano analizy ich rozkładu przestrzennego w Polsce oraz przedstawiono ich zmienność czasową z oszacowaniem trendów. Do oceny istotności statystycznej zmian posłużono się nieparametrycznym testem Manna-Kendalla, a ich istotność statystyczną oceniono metodą Sena (Salmi i in. 2002). Ostatnim etapem było wydzielenie rejonów charakteryzujących się określonymi warunkami agroklimatycznymi w Polsce. W tym celu pogrupowano stacje metodą grupowania hierarchicznego Warda (Ward 1963; Wilks 2011). Grupowanymi obiektami były stacje meteorologiczne, a wskaźniki SAT, GDD i LTI, średnia temperatura powietrza oraz tendencje zmian służyły jako zmienne.

W pracy [A3] określono warunki termiczne okresu wegetacyjnego na podstawie średniej temperatury powietrza i sumy temperatur oraz wykorzystując klasyfikację termiczną opracowaną przez Lorenc (1994). W niniejszej klasyfikacji ocena termiczna dokonywana jest na podstawie relacji pomiędzy średnią temperaturą powietrza danego sezonu a analogiczną

średnią wartością dla wielolecia powiększoną lub pomniejszoną o wielokrotność odchylenia standardowego. Z kolei oceny warunków opadowych dokonano w oparciu o klasyfikację opadową opracowaną przez Kaczorowską (1962). W tej klasyfikacji ocena opadowa dokonywana jest na podstawie procentowego udziału opadów w danym sezonie w stosunku do wartości średniej wieloletniej. Ponadto dla wybranych sezonów wyliczono anomalie miesięcznych sum opadów. Anomalie wyliczono jako różnicę pomiędzy miesięczną sumą opadów w danym roku a średnią miesięczną sumą z wielolecia.

W pracy [A4] przeprowadzono klasyfikację wyznaczonych okresów wegetacyjnych w oparciu o wartość odchylenia standardowego. Na tej podstawie wyznaczono następujące klasy okresu wegetacyjnego: A – anomalnie krótki, B – krótki, C – normalny (przeciętny), D – długi i E – anomalnie długi okres wegetacyjny (Węgrzyn 2008). Klasyfikacja ta została przeprowadzona dla każdej stacji indywidualnie. Następnie określono częstość występowania okresów wegetacyjnych w poszczególnych klasach.

W pracy [A5] zbadano wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na rozpoczęcie i zakończenie okresu wegetacyjnego. W tym celu wyliczono korelację Pearsona pomiędzy datą rozpoczęcia/zakończenia okresu wegetacyjnego a uśrednioną wartością indeksu dla trzech miesięcy poszczególnych typów cyrkulacji (Arctic Oscillation, AO; North Atlantic Oscillation, NAO; East Atlantic, EA; East Atlantic/Western Russia, EA/WR; Scandinavia, SCAND). W przypadku rozpoczęcia okresu uśredniono wartość z miesięcy luty-kwiecień, natomiast w przypadku zakończenia – z miesięcy październik-grudzień.

Wyniki badań

Czasowa i przestrzenna zmienność okresu wegetacyjnego

Przeanalizowane szeregi czasowe dat początku i końca oraz długości termicznych sezonów wegetacyjnych w trzech miastach reprezentujących obszary zurbanizowane Europy Środkowej (Kraków, Praga, Wiedeń) w latach 1792-2020 pozwoliły na uchwycenie wieloletnich zmian cech okresu wegetacyjnego [A1].

W latach 1792-2020 przeciętnie okres wegetacyjny rozpoczynał się 17 marca w Pradze i Wiedniu, a 25 marca w Krakowie. W rozpatrywanym okresie data początku okresu wegetacyjnego znacznie zmieniała się z roku na rok, aczkolwiek zmienność ta była zbliżona w analizowanych stacjach na co wskazywała wartość odchylenia standardowego wynosząca 12 dni w Krakowie, 13 dni w Wiedniu oraz 15 dni w Pradze. Największe tempo zmian

odnotowano w Pradze, sięgając 1 dzień/10 lat. W latach 1792-2020 przeciętnie okres wegetacyjny kończył się 5 listopada w Krakowie, 11 listopada w Pradze, a 13 listopada w Pradze. Podobnie jak w przypadku daty rozpoczęcia również w dacie zakończenia notowano duże wahania z roku na rok. Jednakże były one bardzo podobne w rozpatrywanych stacjach, co potwierdza wartość odchylenia standardowego wynosząca 10 dni w Krakowie i Wiedniu oraz 13 dni w Pradze. Podobnie jak w przypadku początku, również tutaj największe zmiany odnotowano w Pradze, które wynosiły 0,61 dni/10 lat.

W latach 1792-2020 przeciętna długość okresu wegetacyjnego wyniosła 226 dni w Krakowie, 240 dni w Wiedniu oraz 242 dni w Pradze. Podobnie jak przypadku dwóch poprzednich charakterystyk (dat początku i końca okresu wegetacyjnego) i w tym przypadku wahania z roku na rok były zbliżone w analizowanych stacjach (Kraków i Wiedeń – $\sigma=18$ dni, Praga – $\sigma=22$ dni). Konsekwencją coraz wcześniejszego rozpoczęcia i coraz późniejszego zakończenia okresu wegetacyjnego było jego wydłużenie. We wszystkich stacjach odnotowane zmiany były istotne statystycznie. Największy wzrost długości okresu wegetacyjnego odnotowano w Pradze, który wynosił 1,60 dni/10 lat.

W rozpatrywanym okresie w środkowej Europie okres wegetacyjny uległ wydłużeniu, jednakże zmiany te, w poszczególnych stacjach wybranych do analizy, nastąpiły nierównomiernie i były wynikiem różnych przyczyn. Zakres wahanía początku okresu wegetacyjnego wynosił w Krakowie ponad 2 miesiące, a w Pradze i Wiedniu ponad 3 miesiące. Zakres wahanía daty końca okresu wegetacyjnego wynosił około 2 miesięcy, a długości okresu wegetacyjnego we wszystkich stacjach wynosił znacznie powyżej 3 miesięcy.

W prawie 230 letniej serii pomiarów temperatury powietrza wyróżnić można trzy podokresy różniące się intensywnością zmian zarówno dat początku i końca, jak i długości okresu wegetacyjnego. Nasilenie tempa zachodzących zmian nastąpiło we wszystkich stacjach w ostatnim kilkudziesięcioleciu, czyli pod koniec XX i w XXI wieku. Największe przyspieszenie terminu zakończenia okresu wegetacyjnego stwierdzono od końca lat 80. XX wieku w Krakowie i Wiedniu, a od pierwszej połowy lat 70. XX wieku w Pradze.

Stwierdzone zróżnicowanie czasowe i przestrzenne terminów rozpoczęcia i zakończenia okresu wegetacyjnego w omawianym rejonie Europy Środkowej było potwierdzeniem analizy przeprowadzonej wcześniej dla obszaru Polski [A3-A5].

W latach 1966-2015 okres wegetacyjny w Polsce średnio rozpoczynał się 26 marca i kończył 7 listopada. Najwcześniej rozpoczynał się on na południowym zachodzie, a najpóźniej na północy i północnym wschodzie kraju. W większości stacji najwcześniejsze rozpoczęcie okresu wystąpiło w 1990 roku, natomiast najpóźniejsze w latach 1997, 1970 i 1980.

Skrajne daty rozpoczęcia okresu wegetacyjnego wahały się od 29 stycznia (1990) w Słubicach do 5 maja (1970) w Kołobrzegu.

Zakończenie okresu wegetacyjnego następowało sukcesywnie od północnego wschodu na południowy zachód Polski oraz wybrzeże Bałtyku. W większości stacji najwcześniejsze zakończenie okresu wegetacyjnego notowano w latach 1993, 1973 i 1998, natomiast najpóźniejsze w latach 2015, 2000 i 2006. Skrajne daty zakończenia okresu wegetacyjnego wahały się od 8 października (1977) w Terespolu do 19 stycznia (2007) w Słubicach.

Potencjalny czas rozpoczęcia okresu wegetacyjnego na obszarze badań wynosił 97 dni (od 29 stycznia do 5 maja), a w poszczególnych stacjach wahał się od 38 dni w Suwałkach do 95 dni w Kołobrzegu. W badanym okresie następowało coraz wcześniejsze rozpoczynanie się okresu wegetacyjnego. Największe zmiany odnotowano na wybrzeżu tj. w Kołobrzegu (4 dni/10 lat) oraz Helu (3,7 dni/10 lat). Najmniejsze zmiany odnotowano zaś w południowej i zachodniej Polsce.

Potencjalny czas zakończenia okresu wegetacyjnego na obszarze badań wynosił 104 dni (od 8 października do 19 stycznia), a w poszczególnych stacjach wahał się od 33 dni w Krakowie do 86 dni w Słubicach. Zakończenie okresu wegetacyjnego występowało coraz później. Odnotowane zmiany były istotne statystycznie na przeważającym obszarze kraju z wyjątkiem regionów północno-wschodnich, Gór Świętokrzyskich i Wyżyny Lubelskiej. Najintensywniejsze zmiany wystąpiły w Helu (2,6 dni/10 lat) oraz Wrocławiu (2,5 dni/10 lat). Najmniejsze zmiany odnotowano zaś w północno-wschodniej Polsce.

Średnia długość okresu wegetacyjnego w Polsce wynosiła 227 dni. Wzrost długości okresu następował z północnego wschodu na południowy zachód. Najintensywniejszy wzrost długości okresu wegetacyjnego odnotowano w północno-zachodniej Polsce, a w szczególności w stacjach nadmorskich, tj. w Łebie (6,9 dni/10 lat) oraz Helu (6,8 dni/10 lat). Wysoki wzrost notowano w północno-wschodniej i wschodniej Polsce, np. w Olsztynie i Terespolu (4,6 dni/10 lat). W rozpatrywanym wieloleciu najkrótszy okres wegetacyjny trwał 179 dni w 1992 roku (Suwałki), natomiast najdłuższy 297 dni w 2006 roku (Słubice). Przyczyna wydłużenia wegetacji była zróżnicowana przestrzennie w Polsce – dominującą przyczyną był wcześniejszy jego początek na północy i północnym wschodzie Polski, a późniejszy koniec w części zachodniej i północno-zachodniej kraju.

Warunki termiczne i pluwialne okresu wegetacyjnego

Warunki termiczne okresu wegetacyjnego uległy w badanym wieloleciu wyraźnym zmianom [A2, A3]. Na obszarze Polski stwierdzono wzrost temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym. Największy wzrost temperatury powietrza został odnotowany w południowej Polsce, z maksimum w Rzeszowie ($0,26^{\circ}\text{C}/10$ lat) oraz Krakowie i Wrocławiu ($0,25^{\circ}\text{C}/10$ lat).

Średnia suma temperatur w Polsce podczas okresu wegetacyjnego wynosiła 2979°C . Jej najwyższe wartości notowano w południowo-zachodniej Polsce, gdzie przekraczały 3100°C . Z kolei najniższe sumy notowano w północno-wschodniej Polsce i na Pojezierzu Kaszubskim, poniżej 2700°C . W badanym okresie stwierdzono istotny statystycznie wzrost sum temperatur powietrza w Polsce. Najmniejsze zmiany miały miejsce w północno-wschodniej części kraju z minimum w Białymstoku ($57,5^{\circ}\text{C}/10$ lat). Znacznie większe zmiany wystąpiły w zachodniej i południowej części, a ich maksimum stwierdzono we Wrocławiu ($123,4^{\circ}\text{C}/10$ lat).

W oparciu o klasyfikację termiczną ustalono, że w analizowanych latach w Polsce dominowały warunki normalne w okresie wegetacyjnym [A3]. Bazując na danych uśrednionych dla całego obszaru, sezony normalne stanowiły 48% wszystkich sezonów, a udział ich wahał się od 36% w Chojnicach do 56% w Rzeszowie. Pomimo znaczącego ocieplenia, w ostatnich latach notowano również sezony poniżej normy. Na tle ostatniego 20-lecia w szczególności wyróżnia się sezon z 2015 roku, który przede wszystkim w północno-zachodniej Polsce był klasyfikowany jako lekko chłodny, chłodny, a nawet bardzo chłodny w Helu i Łebie. We wszystkich stacjach odnotowano wyraźny wzrost częstości sezonów powyżej normy w ostatnim 20-leciu przy jednoczesnym spadku częstości sezonów poniżej normy.

W celu uszczegółowienia analizy warunków termicznych w okresie wegetacyjnym zbadano zmiany czasowe i przestrzenne warunków agroklimatycznych na podstawie średniej temperatury powietrza, sumy temperatur aktywnych (SAT), stopniodni okresu wegetacyjnego (GDD) oraz wskaźnika szerokości geograficznej (LTI) w Polsce [A2], w okresie od kwietnia do października, dla którego obliczane są wymienione wskaźniki.

Średnia temperatura powietrza w okresie od kwietnia do października w latach 1966-2020 w Polsce wynosiła $13,6^{\circ}\text{C}$. Rozkład przestrzenny odzwierciedla wpływ ścierających się nad Polską wpływów oceanicznych i kontynentalnych oraz położenia nad Morzem Bałtyckim. W badanym okresie nastąpił w Polsce wzrost temperatury powietrza w ciepłej połowie roku średnio o $0,36^{\circ}\text{C}$ na 10 lat. Średnia wartość SAT wynosiła średnio 2582°C .

W około 2/3 powierzchni kraju wartość tego wskaźnika przekracza 2500°C, co oznacza zasoby ciepłe sprzyjające uprawie roślin ciepłolubnych. Od 1998 roku średnia wartość SAT nie spadała poniżej tej wartości. Wartości wskaźnika GDD dla poszczególnych progów temperatury, tj. 0°C, 5°C i 10°C wynosiły odpowiednio: 3270°C, 1900°C i 960°C. Wartości GDD wzrastały z północnego wschodu na południowy zachód. Zaznacza się również ochładzający wpływ Morza Bałtyckiego. Wartości LTI zmieniały się wraz z szerokością geograficzną w Polsce średnio od 90 na środkowym wybrzeżu Bałtyku do około 180 na Podkarpaciu i Małopolsce. W latach 1966-2020 LTI wzrastało w Polsce średnio o 3,8 na 10 lat.

W wyniku podziału kraju na regiony zasobów termicznych wyznaczonych na podstawie średniej temperatury powietrza w okresie wegetacji oraz omawianych wskaźników agroklimatycznych i tendencji ich zmian w badanym okresie wyodrębnione zostały cztery regiony o zróżnicowanych zasobach ciepłych.

Największymi zasobami termicznymi charakteryzuje się region A obejmujący południowo-zachodnią część Polski, tj. dorzecza Odry i Warty. W badanym okresie nastąpił tam istotny statystycznie wzrost wszystkich rozpatrywanych wskaźników, aczkolwiek jest on zróżnicowany przestrzennie. Region B o dużych zasobach termicznych obejmuje dwa obszary. Pierwszy z nich to środkowa Polska, drugi to obszar Podkarpacia. Wyższe wartości poszczególnych wskaźników notowane są w południowej części tego regionu, jednakże zmiany następujące w badanym okresie są zróżnicowane. Region C o umiarkowanych zasobach termicznych obejmuje również dwa obszary. Pierwszy z nich ciągnie się z północnego zachodu, wzdłuż doliny Warty na południowy wschód po wyżyny w środkowej i wschodniej Polsce. Drugi leży w ujściu Wisły. W badanym okresie najmniejsze zmiany wybranych wskaźników agrometeorologicznych i temperatury powietrza miały miejsce w ujściu Wisły. Region D o małych zasobach termicznych to obszar Polski północno-wschodniej oraz wschodnia część wybrzeża Morza Bałtyckiego i Pomorza. Największe zmiany poszczególnych wskaźników agrometeorologicznych wystąpiły w stacji wysuniętej najbardziej na wschód regionu. Natomiast największy wzrost temperatury nastąpił na Pomorzu.

W badanym okresie nastąpił wzrost wartości wszystkich wskaźników agroklimatycznych, co oznacza wzrost zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym na obszarze Polski.

Warunki pluwalne w latach 1966-2015 nie uległy tak wyraźnym zmianom [A3]. Sumy opadów charakteryzowała duża zmienność czasowa. W badanych latach średnio w Polsce odnotowano wzrost sumy opadów w okresie wegetacyjnym. Jednakże zmiany istotne

statystycznie stwierdzono tylko w Świnoujściu (22 mm/10 lat). W pozostałych stacjach nadmorskich odnotowano nieco mniejszy wzrost, aczkolwiek był on znacznie wyższy aniżeli na pozostałym obszarze kraju. Zmniejszenie sumy opadów w okresie wegetacyjnym stwierdzono natomiast na obszarze rozciągającym się od Niziny Śląskiej i Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej przez centralną Polskę aż po Pojezierze Mazurskie.

W okresie wegetacyjnym w Polsce w badanym okresie dominowały normalne warunki pluwialne. Sezony skrajnie suche stwierdzono w niektórych stacjach. Znacznie częściej występowały sezony klasyfikowane jako skrajnie wilgotne. W badanych latach nie odnotowano istotnych statystycznie zmian tych warunków.

Typowe i anomalne okresy wegetacyjne

W badaniach cech okresu wegetacyjnego przeprowadzona została klasyfikacja terminów rozpoczęcia i zakończenia oraz jego długości w celu wyznaczenia okresów typowych i anomalnych. Ocena okresu wegetacyjnego została przeprowadzona dla stacji w Polsce [A4] oraz dla wybranych stacji w Europie Środkowej [A1].

W pracy [A4] wyznaczona została długość anomalnych okresów wegetacyjnych, częstość ich występowania oraz określono zmiany czasowe i przestrzenne ich frekwencji w Polsce w latach 1966-2015. Przeprowadzona klasyfikacja długości okresu wegetacyjnego dla obszaru Polski wykazała, że w analizowanych latach dominowała normalna długość okresu wegetacyjnego. Stwierdzono, że w latach 1966-2015 w Polsce okresy wegetacyjne anomalnie krótkie występowały sporadycznie i miały największy zasięg w roku 1997. Okresy wegetacyjne krótkie występowały częściej w pierwszych trzech dekadach analizowanego wielolecia. Okresy wegetacyjne długie charakteryzowały się większą frekwencją w drugiej połowie badanego okresu. Natomiast okresy wegetacyjne anomalnie długie przed 1990 rokiem wystąpiły sporadycznie i tylko w pojedynczych stacjach. Okresy wegetacyjne anomalnie krótkie występowały tylko na niewielkim obszarze, natomiast anomalnie długie obejmowały większość obszaru kraju. Zauważyć można tendencję do coraz mniejszej częstości okresów krótkich i anomalnie krótkich, a coraz częściej występujących okresów długich i anomalnie długich w Polsce w analizowanym okresie.

Po stwierdzeniu zróżnicowania czasowego i przestrzennego występowania poszczególnych klas okresu wegetacyjnego w Polsce [A4] poszerzony został obszar badań. Klasyfikacja terminów rozpoczęcia i zakończenia oraz długości okresu wegetacyjnego w okresie 1792-2020, w odniesieniu do okresu referencyjnego 1961-1990, przeprowadzona

została również dla wybranych stacji Europy Środkowej. Porównane zostały zmiany okresu wegetacyjnego w Krakowie, Pradze i Wiedniu [A1].

W Krakowie terminy rozpoczęcia poszczególnych klas początku okresu wegetacyjnego były opóźnione w stosunku do tych w Wiedniu i Pradze, co tłumaczyć można wkraczaniem wiosennych pór roku z południowego zachodu i postępujących w kierunku północno-wschodnim, podobnie jak postępuje wiosenne ocieplenie. W Krakowie i Wiedniu daty zakończenia okresu wegetacyjnego były podobne we wszystkich klasach. Praga, położona najbardziej na zachód, charakteryzowała się największym zakresem terminów poszczególnych klas zakończenia okresu wegetacyjnego. Zakres wahań klas długości okresu wegetacyjnego był największy w Pradze. W Krakowie i Wiedniu zakres wahań długości był podobny, natomiast długość okresu wegetacyjnego była większa w Wiedniu.

Przeprowadzona w pracy [A1] klasyfikacja terminów rozpoczęcia okresu wegetacyjnego wykazała, że w analizowanych latach dominowała normalna długość okresu wegetacyjnego we wszystkich trzech stacjach. Sezony normalne (C) stanowiły od 55% wszystkich sezonów w Krakowie, 58% w Wiedniu, do 65% w Pradze, co odpowiada liczbie lat od 126 do 148. Sezony krótkie (B) wystąpiły częściej w Krakowie niż w Pradze i Wiedniu (odpowiednio 29%, 24% i 25%). Anomalnie krótkie (A) okresy wegetacyjne stanowiły 10% wszystkich sezonów w Krakowie, a w Pradze i Wiedniu pojawiały się sporadycznie. Małą frekwencją charakteryzują się także sezony długie (D) i bardzo długie (E). Najmniej tych klas okresu wegetacyjnego wystąpiło w Krakowie.

Wczesny i anomalnie wczesny termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego częściej pojawiał się w Pradze niż w Wiedniu i Krakowie. W Krakowie ponadto występowały one najrzadziej. Późne terminy rozpoczęcia okresu wegetacyjnego pojawiały się od połowy XX wieku już tylko sporadycznie, a w XXI wieku wcale. Anomalnie późne terminy rozpoczęcia w Krakowie i Pradze występowały do początku XX wieku, a w Wiedniu tylko do połowy XIX wieku.

We wszystkich stacjach późne i anomalnie późne terminy zakończenia okresu wegetacyjnego przeważały w XXI wieku. Wcześniej pojawianie się poszczególnych klas było zróżnicowane w poszczególnych miastach. W Krakowie, poza klasą normalną w XIX wieku najczęściej początek okresu wegetacyjnego następował wcześniej i anomalnie wcześniej. W XX wieku pojawiały się tam wszystkie klasy. W Pradze natomiast w pierwszej połowie XIX wieku obserwuje się wszystkie klasy, a do lat 60. XX wieku nie następowało późne i bardzo późne zakończenie okresu wegetacyjnego. Wiedeń charakteryzuje najbardziej zróżnicowane

z roku na rok zakończenie okresu wegetacyjnego aż do XIX wieku, kiedy późne i anomalnie późne terminy zakończenia przeważały.

Anomalnie krótkie okresy wegetacyjne w pierwszej części badanego okresu pojawiały się najczęściej i najdłużej w Krakowie. W tym czasie brak długich i anomalnie długich okresów wegetacyjnych w Krakowie, a w Pradze i Wiedniu pojawiały się one sporadycznie. Długie i anomalnie długie okresy wegetacyjne najczęściej pojawiały się w Wiedniu, a we wszystkich trzech stacjach dominowały w XXI wieku. Najmniej anomalnie krótkich sezonów wegetacyjnych zaobserwowano w Pradze.

Zauważyć można tendencję do coraz mniejszej częstości występowania okresów krótkich i anomalnie krótkich, a coraz częściej występujących okresów długich i anomalnie długich w analizowanym okresie, co potwierdza wcześniejsze wyniki otrzymane dla obszaru Polski [A4].

Grupowanie sezonów wegetacyjnych, wykonane dla każdej z trzech wybranych stacji Europy Środkowej osobno, pozwoliło na wyznaczenie pięciu głównych typów okresu wegetacyjnego, biorąc pod uwagę nie tylko jego długość, ale także daty rozpoczęcia i zakończenia [A1].

Wśród wyróżnionych typów okresów wegetacyjnych najczęściej w Krakowie i w Wiedniu występował typ 5, czyli krótki/bardzo krótki z normalnym lub późnym/bardzo późnym terminem początku i normalnym lub wczesnym terminem zakończenia. W Pradze natomiast najczęściej pojawiał się normalny okres wegetacyjny z normalnym terminem początku i normalnym lub wczesnym terminem zakończenia.

We wszystkich miastach coraz częściej, szczególnie w ostatnich trzydziestu latach pojawiał się typ 1. W Pradze i Wiedniu oznacza on długi lub bardzo długi okres wegetacyjny ze wczesnym lub bardzo wczesnym rozpoczęciem i normalnym lub późnym zakończeniem. W Krakowie typ 1 to normalny lub długi okres wegetacyjny z normalnym lub wczesnym początkiem i normalnym lub późnym zakończeniem.

Niezależnie od różnic pomiędzy stacjami w wyróżnionych typach okresu wegetacyjnego, najkrótsze okresy wegetacyjne (krótsze głównie ze względu na późny lub bardzo późny start) zaobserwowano jednocześnie na trzech analizowanych stacjach w latach 1830-1860 i na początku XX wieku. Odwrotny typ, reprezentujący najdłuższe okresy wegetacyjne, od lat 90. XX wieku wystąpił najliczniej w Europie Środkowej.

Wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na termin początku i końca okresu wegetacyjnego

Na warunki termiczne i ich zmienność oddziałuje cyrkulacja atmosfery. W przeprowadzonym badaniu [A5] sprawdzono jaki wpływ miała cyrkulacja atmosfery na terminy rozpoczęcia i zakończenia okresu wegetacyjnego.

Pomimo dużej zmienności czasowo-przestrzennej terminów rozpoczęcia okresu wegetacyjnego, zdecydowaną większość (>99%) odnotowano w miesiącach od lutego do kwietnia. Zatem w analizie wpływu makroskalowych typów cyrkulacji na termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego uwzględniono 3-miesięczne (luty-marzec-kwiecień) średnie wartości indeksów każdego typu.

W latach 1966-2015 w Polsce nastąpiło wydłużenie okresu wegetacyjnego wynikające przede wszystkim z jego wcześniejszego rozpoczynania. Czas i zasięg zmian parametrów okresu wegetacyjnego były istotnie uzależnione od zmienności typów makroskalowych cyrkulacji (AO, NAO, EA, SCAND, EA/WR) wpływających na cyrkulację atmosfery nad Polską. Największy wpływ na termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego miała Oscylacja Arktyczna. Negatywna faza AO (ujemny indeks) znacząco opóźnia nadejście okresu wegetacyjnego, natomiast w pozytywnej fazie AO – przy dominującej cyrkulacji zachodniej – na przełomie zimy i wiosny ocieplenie przychodzi wcześniej. Oscylacja Północnoatlantycka w mniejszym stopniu niż AO reguluje termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego. Typ Wschodnioatlantycki ma znacznie mniejszy wpływ na wiosenne wzrosty temperatury powietrza w Polsce. Typ Wschodnioeuropejski nie wywiera istotnego statystycznie wpływu na termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego w Polsce.

Daty zakończenia okresu wegetacyjnego przypadają w większości (> 99% przypadków) na miesiące od października do grudnia. W analizie wpływu makroskalowych typów cyrkulacji na termin zakończenia okresu wegetacyjnego uwzględniono więc średnie indeksy typów cyrkulacji dla miesięcy październik-listopad-grudzień

Zakończenie okresu wegetacyjnego najsilniej regulowała cyrkulacja Wschodnioatlantycka. Znaczenie dwóch pokrewnych typów cyrkulacji AO i NAO jest największe w północnej i północno-zachodniej Polsce. Dodatkowo ekstrema SCAND wydłużają ciepły sezon w całym kraju, do ponad dwóch tygodni na zachodzie i południowym zachodzie. Również typ EA/WR w porze jesienno-zimowej miał wpływ na kształtowanie temperatury powietrza w Polsce i powodował wydłużenie okresu wegetacyjnego w południowo-wschodniej części kraju.

Silniejszy wpływ cyrkulacji na dynamikę zmian temperatury notowano na przełomie zimy i wiosny, niż w okresie jesiennym. Przestrzennie wpływ cyrkulacji na temperaturę powietrza w przejściowych porach roku jest najsłabszy na północnym wschodzie Polski, a najsilniejszy na zachodzie i południowym zachodzie.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania udokumentowały, że wraz z postępującym globalnym ociepleniem zachodzą zmiany zarówno parametrów charakteryzujących sezony wegetacyjne, jak i warunków panujących w tym okresie. Cykl prac porusza dotychczas nieanalizowane zagadnienia odnoszące się do przebiegu okresu wegetacyjnego w Polsce oraz uaktualnia kwestie poruszane we wcześniejszych badaniach. Do najważniejszych osiągnięć przedłożonego cyklu artykułów zaliczam:

- 1) ustalenie, że zmiany cech okresu wegetacyjnego w latach 1972-2020 w środkowej Europie nastąpiły nierównomiernie i były wynikiem różnych przyczyn. Najintensywniejsze zmiany notowano w ostatnich dziesięcioleciach;
- 2) potwierdzenie zróżnicowania przestrzennego przyczyny wydłużania się okresu wegetacyjnego w Polsce jako wynik wcześniejszego jego rozpoczynania lub późniejszego jego zakończenia;
- 3) przedstawienie cech termicznych okresu wegetacyjnego, które uległy w badanym wielolecu wyraźnym zmianom. Na obszarze Polski stwierdzono wzrost temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym. We wszystkich stacjach odnotowano wyraźny wzrost częstości sezonów powyżej normy w ostatnim 20-leciu i zaobserwowano jednocześnie spadek częstości sezonów poniżej normy. Stwierdzono ponadto istotny statystycznie wzrost sum temperatur powietrza w Polsce. Potwierdzono wzrost zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym na obszarze Polski w badanym okresie na podstawie wzrostu wartości wszystkich rozpatrywanych wskaźników agroklimatycznych;
- 4) przedstawienie warunków pluwialnych okresu wegetacyjnego. W okresie wegetacyjnym w Polsce dominowały warunki normalne. Sezony skrajnie suche stwierdzono w niektórych stacjach. Znacznie częściej występowały sezony klasyfikowane jako skrajnie wilgotne;
- 5) wyznaczenie tendencji zmian występowania klas okresów wegetacyjnych w rozpatrywanych stacjach środkowej Europy. Stwierdzona została coraz mniejsza

częstość okresów krótkich i anomalnie krótkich, coraz częściej występujące okresy długie i anomalnie długie;

- 6) udowodnienie, że zasięg zmian parametrów okresu wegetacyjnego był istotnie uzależniony od zmienności typów makroskalowych cyrkulacji wpływających na cyrkulację atmosfery nad Polską. Największy wpływ na termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego miała Oscylacja Arktyczna. Zakończenie okresu wegetacyjnego najsilniej regulowała cyrkulacja Wschodnioatlantycka. Silniejszy wpływ cyrkulacji na dynamikę zmian temperatury powietrza notowano na przełomie zimy i wiosny, niż w okresie jesiennym. Przestrzennie wpływ cyrkulacji na temperaturę powietrza w przejściowych porach roku jest najslabszy na północnym wschodzie Polski, a najsilniejszy na zachodzie i południowym zachodzie.

Poznanie cech i kierunku zmian warunków okresu wegetacyjnego w Polsce na tle Europy Środkowej może być pomocne w ocenie skutków społecznych i gospodarczych tych zmian w zmieniających się warunkach klimatycznych.

5. *Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.*

Po uzyskaniu stopnia doktora odbyłam staż w stacji Petuniabukta na Spitsbergenie, którego celem była kontynuacja badań dotyczących zachmurzenia w rejonie Arktyki (VI 2022). Ponadto realizowałam miesięczny staż (I-II 2023) na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie oraz Uniwersytecie Masaryka w Brnie. W czasie konsultacji naukowo-dydaktycznych z pracownikami samodzielnymi Zakładu Klimatologii IGiGP UJ dokonałam również prezentacji wyników własnych badań naukowych na wspólnym seminarium naukowym Zakładu Klimatologii Uniwersytetu Jagiellońskiego i Katedry Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie oraz prezentację metodologii badań okresu wegetacyjnego dla studentów IGiGP UJ na seminarium dyplomowym. Pobyt w Brnie obejmował konsultacje naukowe z klimatologami w Zakładzie Geografii Uniwersytetu Masaryka (m.in. dotyczącymi problematyki zmian wskaźników agroklimatycznych z prof. Rudolfem Brázdilem i prof. Petrem Dobrovolným, suszy z dr. Janem Řehořem, zachmurzenia w obszarach polarnych z doc. dr. Kamilem Láską), w Czeskim Instytucie Hydrometeorologicznym (the Czech Hydrometeorological Institute; dot. badań fenologicznych

z dr Grażyną Knozową) oraz Global Change Research Institute, Czech Academy of Sciences i w Uniwersytecie Mendla (Department of Agrosystems and Bioclimatology dot. zjawiska suszy i pomiarów fenologicznych z prof. Zdenkiem Žaludem i jego zespołem).

Wymiernym efektem współpracy z pracownikami spoza mojego macierzystego Uniwersytetu są dwa artykuły z Katarzyną Piotrowicz Uniwersytetu Jagiellońskiego z zakresu agroklimatologii (Szyga-Pluta i in. 2022; Szyga-Pluta i in. 2023). Współpraca z Małgorzatą Owczarek z Uniwersytetu Gdańskiego dotyczy zagadnień bioklimatycznych (poster na konferencji w Krakowie w 2022 roku i artykuł przyjęty do druku: Tomczyk et al. 2023). Wspólne badania dotyczące wpływu warunków atmosferycznych na stosunki hydrologiczne przeprowadzone zostały w zespole z Bogumiłem Nowakiem (Wody Polskie, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej) i Mariuszem Sojką z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (Nowak i in. 2022). Wcześniejsza współpraca z Kamilem Laską z Uniwersytetu Masaryka w Brnie zaowocowała wspólną publikacją dotyczącą zachmurzenia na Spitsbergenie (Kolendowicz i in. 2021). Ponadto obecnie jestem jednym z wykonawców w granicy realizowanym we współpracy międzynarodowej z prof. Andreasem Matzarakisem z Deutscher Wetterdienst (DWD).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Osiągnięcia dydaktyczne

Wśród osiągnięć w mojej działalności dydaktycznej są opracowane i realizowane programy wykładów i ćwiczeń z zakresu klimatologii i meteorologii oraz ochrony atmosfery. Od początku mojej pracy w Zakładzie Klimatologii prowadziłam ćwiczenia z Meteorologii i Klimatologii na kierunku Geografia, od 2010 roku na Geografii spec. Hydrologia, Meteorologia i Klimatologia (HMiK), a od 2020 roku na kierunku Geografia spec. Geo-grafika i Ekologia Miasta. Ten sam przedmiot realizowałam na Wydziale Biologii naszego uniwersytetu (kierunek Ochrona Środowiska) oraz w Zamiejscowym Ośrodku Dydaktycznym w Pile (obecnie Nadnotecki Instytut UAM w Pile) na kierunku Gospodarka wodna. Prowadziłam także ćwiczenia z Klimatologii stosowanej (IV r. HMiK), Bioklimatologii (III r. HMiK), Klimatologii ogólnej i regionalnej (III r. Geografia) oraz Klimatologii regionalnej (IV r. HMiK). Wśród przedmiotów dotyczących ochrony atmosfery prowadziłam wykłady z Ochrony powietrza i klimatu, Zanieczyszczenia i ochrony powietrza atmosferycznego, Zasobów i ochrony atmosfery (III r. HMiK) oraz wykłady i ćwiczenia z Jakości powietrza

i wody w mieście. Prowadzę również wykłady i ćwiczenia z Zasobów i ochrony atmosfery na kierunku Zarządzanie Środowiskiem. Ponadto prowadziłam i nadal prowadzę liczne ćwiczenia terenowe na kierunku Geografia i Geografia spec. HMiK (Ćwiczenia terenowe z meteorologii, Ćwiczenia terenowe regionalne kompleksowe, Ćwiczenia terenowe specjalnościowe), na kierunku Kształtowanie i Ochrona Środowiska (Ćwiczenia terenowe kompleksowe – meteorologia) oraz na kierunku Turystyka i Rekreacja (Ćwiczenia terenowe regionalne, Ćwiczenia terenowe przewodnictwo po ośrodkach i obiektach turystycznych).

Dodatkowo, w omawianym okresie prowadziłam konwersatoria, laboratoria i seminaria dyplomowe dla studentów różnych specjalności kierunku Geografia oraz Zarządzanie Środowiskiem. Dotychczas byłam promotorem 66 prac licencjackich (od roku akademickiego 2014/15 kiedy wprowadzono prace licencjackie) oraz recenzentem 44 prac dyplomowych. Wśród studentów, nad którymi sprawowałam opiekę w czasie pisania prac dyplomowych, dwie prace zostały nagrodzone (2021), a dwie uzyskały wyróżnienia (2020, 2021) w Konkursie Prac Licencjackich na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych (WNGiG) UAM.

W roku akademickim 2021/2022 studenci z kierunku Geografia, specjalność HMiK pod moją opieką uzyskali grant Study@research w Konkursie nr 034 w ramach Programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza na realizację zadania projektowego pt. „Zachmurzenie w Polsce w latach 1996-2021 – kompleksowa analiza ilościowa i jakościowa”.

Od początku mojej pracy prowadziłam średnio 374 godziny zajęć rocznie. Zajęcia były wysoko oceniane przez studentów.

Brałam udział w licznych zajęciach podnoszących moje kwalifikacje dydaktyczne. Między innym w ostatnich latach w ramach projektu „UAM: Unikatowy Absolwent = Możliwości. Wzrost potencjału dydaktycznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza poprzez proinnowacyjne kształcenie w języku angielskim, interdyscyplinarność, e-learning, inwestycje w kadry” w 2013 roku skończyłam kurs Podstawy e-learningu, który ułatwił mi komunikację ze studentami szczególnie w czasie prowadzonych zdalnie zajęć. W 2021 roku w ramach projektu "Uczelnia otwarta dla wszystkich uczelnią na miarę XXI wieku" uczestniczyłam w warsztatach „Praca ze studentami z trudnościami natury psychicznej i poznawczej”. W 2022 roku natomiast brałam udział w XVII Ogólnopolskim Webinarze „Wystąpienia publiczne - tego się można nauczyć!” organizowanym przez Fundację Science Watch Polska, a także w warsztatach „Przemawianie publiczne dla dydaktyków” organizowanych w ramach Warsztatów Dydaktycznych UAM. W ramach projektu "Uczelnia otwarta dla wszystkich uczelnią na miarę XXI wieku" uczestniczyłam również w warsztatach „Praca ze studentem w spektrum autyzmu”.

Osiągnięcia organizacyjne

W ramach swojej działalności organizacyjnej na UAM trzykrotnie sprawowałam funkcję opiekuna roku studiów licencjackich (2010-2013, 2015-18, 2020-obecnie, kierunek Geografia, specjalność: hydrologia, meteorologia i klimatologia) i dwukrotnie studiów magisterskich (2013-2015, 2018-2020, kierunek Geografia, specjalność: hydrologia, meteorologia i klimatologia).

W latach 1995, 2004, 2010, 2013 i 2016 byłam członkiem komisji rekrutacyjnej dla kierunku Geografia. W latach 2013 i 2014 byłam powołana na członka Komisji ds. egzaminu licencjackiego na studiach stacjonarnych kierunku Geografia, spec. hydrologia, meteorologia i klimatologia. W roku akademickim 2018/19 – byłam członkiem jury Wydziałowego Konkursu Prac Licencjackich.

Brałam również czynny udział w organizacji konferencji naukowych (8), np. Konferencji „Klimat Polski na tle klimatu Europy”, Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej pt.: „Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania” i cyklicznej Ogólnopolskiej Konferencji Klimatologicznej „Aktualne problemy badawcze w meteorologii i klimatologii”.

Od wielu lat intensywnie angażuję się w organizację Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki (PFNiS) oraz Nocy Naukowców na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM. W roku 2016 zostałam powołana na członka Zespołu ds. Festiwalu Nauki i Sztuki oraz Nocy Naukowców na WNGiG, a od roku 2019 (do chwili obecnej) jestem koordynatorem wydziałowym ds. organizacji PFNiS na WNGiG.

W roku 2011 zostałam powołana do zespołu ds. wdrożenia Krajowych Ram Kwalifikacyjnych na WNGiG na kierunku HMiK. Wielokrotnie byłam wybierana na członka Rady Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego UAM.

Za znaczący wkład w funkcjonowanie Wydziału uważam mój udział w ramach działalności Komisji ds. Punktowej Oceny Dorobku Naukowego Pracowników WNGiG (działalność w komisji od roku 2010 do chwili obecnej). Ponadto powołana zostałam do pełnienia funkcji członka komisji ds. ewaluacji jakości działalności naukowej WNGiG na kadencję 2021-2024.

W roku 2012 otrzymałam nagrodę Dziekana WNGiG za pracę w Wydziałowej Komisji Oceny Dorobku Naukowego. W latach 2015-2020 i 2022 zostałam siedmiokrotnie nagrodzona przez Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu zespołową nagrodą III stopnia za działalność organizacyjną.

Osiągnięcia popularyzujących naukę

W trakcie dotychczasowej pracy na UAM byłam zaangażowana w działalność popularyzującą naukę. Od roku 2010 prowadzę zajęcia i warsztaty w ramach Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki (11) oraz Nocy Naukowców (6) i innych na WNGiG (3 – Polska Akademia Dzieci, “Measurements and observations in the Climatological Department” – dla studentów Hannover University, Nowoczesne technologie a środowisko przyrodnicze), a także na zaproszenie w poznańskich i podpoznańskich placówkach oświatowych (10) i Uniwersytetu Trzeciego Wieku. Aktualnie biorę również udział w projekcie WNGiG UAM pt. Różne oblicza geografii mającym na celu popularyzację nauki, finansowanym przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, w ramach którego wygłosiłam wykład pt. „Co mamy na niebie? Krótki kurs rozpoznawanie chmur”.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Zagadnienia agroklimatyczne, poza publikacjami składającymi się na osiągnięcie naukowe, były podejmowane przeze mnie również wcześniej. Wraz ze Współautorem analizowałam zmiany terminów rozpoczęcia i zakończenia okresu wegetacyjnego oraz zmiany jego długości w latach 1971-2010 w Polsce (Tomczyk i Szyga-Pluta 2016). W badanych latach okres wegetacyjny najwcześniej rozpoczynał się w zachodniej i południowo-zachodniej Polsce, a najpóźniej w północno-wschodniej. Z kolei najwcześniej okres wegetacyjny kończył się w regionach północno-wschodnich, a najpóźniej w północnych i zachodnich. W analizowanych latach stwierdzono coraz wcześniejsze rozpoczęcie okresu wegetacyjnego oraz coraz późniejsze jego zakończenie. W przypadku rozpoczęcia najintensywniejsze zmiany odnotowano w północnej i w północno-wschodniej Polsce, natomiast w przypadku zakończenia na wschodnim wybrzeżu oraz w centralnej i południowej Polsce. Powyższe zmiany przyczyniły się do wydłużenia okresu wegetacyjnego. Podobny kierunek zmian odnotowano także w przypadku okresu intensywnej wegetacji (Tomczyk i Szyga-Pluta 2017, 2018). Opady w sezonie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015 charakteryzowała sezonowość. Najczęściej na obszarach o największej koncentracji opadów występuje największy udział dni bez opadów i odwrotnie (Szyga-Pluta i Tomczyk 2019b). Większość zjawisk przyrodniczych i znaczna część gospodarczych zależy bezpośrednio od termicznych pór roku, dlatego podjęłam się także określenia zmienności termicznych pór roku w różnych przedziałach czasowych

(Szyga-Pluta 2011a,d). Występowanie suszy atmosferycznej w Polsce w okresie wegetacyjnym jest bardzo zróżnicowane, stąd niekompletna i niewystarczająca jest ocena suszy na podstawie uśrednionych wartości wskaźników dla całego obszaru Polski (Szyga-Pluta 2018). Stwierdziłam, że do wyznaczania występowania okresów suszy w kolejnych latach znaczenie wyboru wskaźnika jest mniejsze niż w przypadku wyznaczenia okresów o różnej intensywności suszy. Analizowałam również, ze współautorami, jeden z czynników mających istotny wpływ na warunki agroklimatyczne w różnych skalach przestrzennych, tj. występowanie przymrozków i okresów bezprzymrozkowych oraz synoptyczne uwarunkowania silnych i bardzo silnych przymrozków jesiennych i wiosennych (Tomczyk i in. 2015; Szyga-Pluta 2017a; Tomczyk i in. 2020).

Ponadto od początku zatrudnienia w Zakładzie Meteorologii i Klimatologii kolejny nurt moich zainteresowań naukowych obejmuje zagadnienia nefologiczne.

W tym nurcie zainteresowań mieści się moja dysertacja doktorska. Rozprawa miała na celu charakterystykę struktury zachmurzenia oraz rozpoznanie rozkładu przestrzennego częstości występowania poszczególnych rodzajów chmur w Polsce Północno-Zachodniej (Szyga-Pluta 2002). W zachmurzeniu ogólnym stwierdziłam dominujący udział chmur *Sc* i *Ac* oraz wyraźną sezonowość w przebiegu rocznym chmur *Ci*, *Ac*, *Cu* i *Cb* oraz przebiegu dziennym *Cu* i *Cb*. Istotnym wynikiem rozprawy doktorskiej jest także zaproponowany podział północno-zachodniej Polski na regiony nefologiczne. Podziału dokonałam na podstawie częstości występowania poszczególnych rodzajów chmur, wykorzystując metodę grupowania hierarchicznego. Praca doktorska została opublikowana jako monografia w 2002 roku, za którą m.in. zostałam nagrodzona przez Rektora UAM nagrodą indywidualną II stopnia za działalność naukowo-badawczą w roku 2003.

Analiza ilościowa i jakościowa zachmurzenia oraz uwarunkowania cyrkulacyjne zachmurzenia podejmowane były przeze mnie w licznych pracach, m.in. dotyczących Poznania (Szyga-Pluta 1999a,b, 2015, 2022), wybrzeża (Szyga-Pluta 2001, 2003), czy Polski (Sypniewska i Szyga-Pluta 2018). Stwierdziłam, że bezchmurne i pogodne dni związane są z antycyklonalnymi typami cyrkulacji atmosfery i napływem mas powietrza z południowego wschodu, natomiast dni z całkowitym zachmurzeniem występują przede wszystkim w czasie cyrkulacji cyklonalnej (Szyga-Pluta 2015), największy wpływ warunków lokalnych na formowanie się chmur uwidacznia się w przypadku chmur kłębiastych (Szyga-Pluta 2009), a na wielkość zachmurzenia w Poznaniu wpływ miały typy cyrkulacji makroskalowych głównie w cieplej porze roku – najsilniejszy: Oscylacja Północnoatlantycka, Oscylacja Arktyczna i Skandynawska (Szyga-Pluta 2022). Na nieco odmienną strukturę zachmurzenia w Moskwie

w porównaniu ze stacjami w Polsce wpływa zapewne jej położenie w zasięgu bardziej surowego klimatu kontynentalnego (Szyga-Pluta 2010, 2014a). Podjęłam się również zbadania zachmurzenia w rejonie górskim oraz podkreślenia specyfiki zachmurzenia obserwowanego w dolinie i na szczycie góry. Stopień zachmurzenia nieba nad Morskim Okiem silnie zależy od kierunku napływu mas powietrza (Szyga-Pluta 2014b). Jak wykazały badania, odwrócony profil zachmurzenia w Sudetach ma związek z warunkami antycyklonalnymi w zimnym półroczu, głównie wtedy, gdy nad doliną tworzy się inwersja termiczna (Szyga-Pluta 2017b). W celu określenia rozkładu ciśnienia w dni z tzw. morzem chmur skonstruowana została mapa kompozytowa SLP dla określonych dni. W pracy współautorskiej ustalone zostało, jaki rodzaj zimowego zachmurzenia najczęściej powoduje opady śniegu w północno-zachodniej Polsce (Bednorz i Szyga-Pluta 2004).

Kolejny nurt realizuję m. in. w badaniach topoklimatycznych i bioklimatycznych.

Efektom moich zainteresowań naukowych związanych z zagadnieniami topoklimatu i bioklimatu są publikacje dotyczące parków narodowych: Słowińskiego, Wolińskiego i Wielkopolskiego (w większości współautorskich). Prace z tej dziedziny dotyczą zasięgu bezpośredniego oddziaływania klimatycznego morza w strefie brzegowej (Słowiński Park Narodowy, Mierzeja Łebska) oraz badań kompleksowych ukazujących zróżnicowanie topoklimatyczne wybranych ekosystemów, a także warunków bioklimatycznych (wychładzania biologicznego) w rejonach ruchu turystycznego (Bednorz i in. 2001; Bednorz i in. 2003a,b; Kolendowicz i in. 2004; Bednorz i in. 2009). Analizowałam również zróżnicowanie wielkości ochładzającej powietrza na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego (Szyga-Pluta 2011c). W pracy zbiorowej (Kolendowicz i in. 2004), dokonaliśmy analizy sytuacji synoptycznych nad Europą środkową charakterystycznych dla dni z opadami o sumie dobowej większej od 30 mm w miesiącach letnich okresu 1990-1999 na obszarze Słowińskiego Parku Narodowego. Ponadto analizie poddane były również warunki anemometryczne na Mierzei Łebskiej (Figat i Szyga-Pluta 2015). Stwierdziłam, że warunki bioklimatyczne Wielkopolskiego Parku Narodowego sprzyjają uprawianiu turystyki i rekreacji, a najbardziej komfortowe warunki klimatu odczuwalnego występują zwłaszcza od maja do września (Szyga-Pluta 2011b). Najkorzystniejsze warunki w aspekcie zachmurzenia, które mają znaczenie biometeorologiczne dla osób odwiedzających Park Narodowy „Bory Tucholskie” występują w okresie od czerwca do września (Szyga-Pluta 2016). We wspólnych badaniach (Szyga-Pluta i Półrolniczak 2013) ustaliliśmy, że poszczególne metody oraz wskaźniki zastosowane osobno nie dają pełnego obrazu warunków biotermicznych rozpatrywanego obszaru.

Zagadnienia z dziedziny bioklimatologii podejmowane były przeze mnie również później w pracach współautorskich dotyczących charakterystyki warunków biometeorologicznych w oparciu o wskaźnik UTCI w strefie wybrzeża Bałtyku (Półrolniczak i in. 2016; Kolendowicz i in. 2018). W indywidualnej pracy (Szyga-Pluta 2017c) stwierdziłam, że okresem najbardziej uciążliwym w tym rejonie była chłodna połowa roku, a przyczynami dyskomfortu biometeorologicznego w strefie polskiego wybrzeża Bałtyku były głównie międzydobowe zmiany ciśnienia atmosferycznego i okresy parne.

W moich zainteresowaniach mieszczą się również zmiany zachodzące w Arktyce, czego efektem są prace dotyczące zmian warunków termicznych w rejonie Archipelagu Svalbard (referat na konferencji 2022; publikacja w przygotowaniu), warunków atmosferycznych aktywności burzowej (Czernecki i in. 2015) oraz wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wielkość i rodzaj zachmurzenia (Kolendowicz i in. 2016).

Podsumowanie dorobku naukowego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje 66 recenzowanych prac tj. 57 artykułów naukowych (w tym 5 artykułów tworzących osiągnięcie habilitacyjne), 8 rozdziałów w monografiach i jedną monografię. Badania prowadziłam i prowadzę zarówno indywidualnie, jak w zespołach badawczych z pracownikami macierzystego Uniwersytetu oraz Uniwersytetu Jagiellońskiego (dr hab. K. Piotrowicz, prof. UJ), Uniwersytetu Gdańskiego (dr M. Owczarek), Masaryk University (doc. K. Láska), RZGW (dr B. Nowak), Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (prof. dr. hab. inż. M. Sojka) oraz Deutcher Wetterdienst w ramach grantu (prof. A. Matzarakis). Wyniki badań naukowych zaprezentowane zostały na 32 konferencjach (7 referatów i 25 posterów).

Pozostałe dane bibliometryczne (7.02.2023 r.):

Indeks Hirscha wg Web of Science	7
Indeks Hirscha wg SCOPUS	8
Indeks Hirscha wg Google Scholar	10
Liczba cytowań wg Web of Science	130 (111 bez autocytowań)
Liczba cytowań wg SCOPUS	167 (141 bez autocytowań)
Liczba cytowań wg Google Scholar	292
Sumaryczny Impact Factor	62,261
Suma punktów wg punktacji MNiSW/MEiN zgodnie z rokiem publikacji	1446

Moje dotychczasowe badania znalazły uznanie redaktorów czasopism międzynarodowych jak i krajowych, którzy wielokrotnie powoływali mnie na recenzenta publikacji z zakresu klimatologii (łącznie 27). W ostatnim czasie wykonałam recenzje artykułów dla następujących czasopism: *Theoretical and Applied Climatology*, *Applied Sciences*, *Atmosphere*, *Sustainability*, *Remote Sensing*, *Climate*, *Earth and Space Science*, *Acta Geophysica*, *Questiones Geographicae*, *Journal of Marine Science and Engineering*, *Przegląd Geofizyczny*, *Prace Geograficzne*, *Bulletin of Geography – Physical Geography Sciences*, *Acta Geographica Lodziensia* i *Badania Fizjograficzne, Seria A – Geografia Fizyczna*. Obecnie jestem współredaktorem numeru specjalnego w czasopiśmie *Atmosphere*, wydawanym przez MDPI: „*Agrometeorological Time Series and Climate Change*” (red. Katarzyna Szyga-Pluta, Renata Graf, Arkadiusz M. Tomczyk).

Literatura cytowana w autoreferacie

- Aasa A., Jaagus J., Ahas R., Sepp M., 2004 – The influence of atmospheric circulation on plant phenological phases in central and eastern Europe. *Int J Climatol* 24(12):1551-1564.
- Bai J., Perron P., 1998 – Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica* 66:47-78. <https://doi.org/10.2307/2998540>.
- Barichivich J., Briffa K.R., Myneni R.B., Osborn T.J., Melvin T.M., Ciais P., Piao S., Tucker C., 2013 – Large-scale variations in the vegetation growing season and annual cycle of atmospheric CO₂ at high northern latitudes from 1950 to 2011. *Glob Chang Biol* 19(10):3167-3183. doi:10.1111/gcb.12283.
- Bartoszek K., Siłuch M., 2015 – Porównanie metody Gumińskiego i teledetekcji satelitarnej w aspekcie wyznaczania dat początku okresu wegetacyjnego na obszarze Polski. *Inżynieria Ekologiczna* 45:99-105.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2001 – Typy topoklimatu Słowińskiego Parku Narodowego. *Dok Geogr IGiPZ PAN*, Warszawa, 23:19-31.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2003a – Differences de temperature At d’humidite insi quo differentiation bioclimatique dans des ecosystems choisis du Park National de la Grande Pologne. *Dok Geogr IGiPZ PAN*, Warszawa, 29:33-36.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2003b – Topoclimatic and bioclimatic research in the Wielkopolski National Park. [W:] *Kształtowanie i ochrona środowiska leśnego*. Wyd. Akademii Rolniczej im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań, 273-280.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2004 – Badania topoklimatyczne i bioklimatyczne w Wielkopolskim Parku Narodowym. *Morena*, 11, *Prace Wielkopolskiego Parku Narodowego*, 15-20.
- Bednorz E., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2009 – Charakterystyka topoklimatyczna fragmentu wybrzeża klifowego w rejonie Białej Góry (Woliński Park Narodowy). *Bad Fizjogr Nad Polską Zach* 60, Seria A, *Geogr Fiz*, Wyd. PTPN, Poznań, 7-22.
- Bednorz E., Szyga-Pluta K., 2004 – Przyrosty grubości pokrywy śnieżnej a występowanie wybranych rodzajów chmur w Polsce Północno-Zachodniej. *Bad Fizjogr nad Polską Zachodnią, seria A – Geogr Fiz* 55:29-34.

- Bochenek W., Dedo J., Marczewski W., 2013 – Zróżnicowanie długości i warunków termicznych okresu wegetacyjnego na obszarze Beskidów i Pogórzy w latach 2001-2011 na podstawie danych zgromadzonych w bazie GLDAS. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego* 14:79-85.
- Bootsma A., 1994 – Long term (100 yr) climatic trends for agriculture at selected locations in Canada. *Clim Change* 26:65-88.
- Brázdil R., Možný M., Klír T., Řecničková L., Trnka M., Dobrovolný P., Kotyza O., 2019 – Climate variability and changes in the agricultural cycle in the Czech Lands from the sixteenth century to the present. *Theor Appl Climatol* 136:553–573. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2508-3>
- Carter T.R., 1998 – Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agric Food Sci Finland* 7:161-179. <https://doi.org/10.23986/afsci.72857>.
- Ceglar A., Zampieri M., Toreti A., Dentener F., 2019 – Observed northward migration of agroclimate zones in Europe will further accelerate under climate change. *Earths Future* 7:1088-1101. <https://doi.org/10.1029/>.
- Chmielewski F.M., Muller A., Bruns E., 2004 – Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agric For Meteorol* 121:69-78. doi:10.1016/S0168-1923(03)00161-8.
- Chmielewski F.M., Rötzer T., 2001 – Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric Forest Meteorol* 108:101-112.
- Chmielewski F.M., Rötzer T., 2002 – Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Clim Res* 19:257-264. doi:10.3354/cr019257.
- Cotton P.A., 2003 – Avian migration phenology and global climate change. *Proc Natl Acad Sci USA* 100:12 219-12 222. doi:10.1073/pnas.1930548100.
- Crick H.Q.P., Sparks T.H., 1999 – Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399:423.
- Cross, H.Z., Zuber, M.S., 1972 – Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron J* 64:351-355.
- Cui L., Shi J., 2021 – Evaluation and comparison of growing season metrics in arid and semi-arid areas of northern China under climate change. *Ecol Indic* 121:107055. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107055>.
- Cui L., Shi J., Ma Y., Du H., 2017 – Distribution and trend in the thermal growing season in China during 1961–2015. *Phys Geogr* 38(6):1-18. doi: 10.1080/02723646.2017.1344497.
- Czernecki B., Miętus M., 2017 – The thermal seasons variability in Poland, 1951–2010. *Theor Appl Climatol* 127:481-493. doi: 10.1007/s00704-015-1647-z.
- Czernecki B., Taszarek M., Kolendowicz L., Szyga-Pluta K., 2015 – Atmospheric conditions of thunderstorms in the European part of the Arctic derived from sounding and reanalysis data. *Atm Res* 14:60-72.
- D’Odorico P., Yoo J., Jaeger S., 2002 – Changing seasons: an effect of the North Atlantic oscillation? *J Clim* 15:435-445.
- Duarte L., Teodoro A.C., Monteiro A.T., Cunha M., Gonçalves H., 2018 – QPhenoMetrics: an open source software application to assess vegetation phenology metrics. *Comput Electron Agric* 148:82-94. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.007>.
- Eitzinger J., Trnka M., Semerádová D., Thaler S., Svobodová E., Hlavinka P., Šiška B., Takáč J., Malatinská L., Nováková M., Dubrovský M., Žalud Z., 2013 – Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe—hotspots, regional differences and common trends. *J Agric Sci* 151:787–812. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000767>
- Fagre D.B., and Coauthors, 2009 – Case studies. Thresholds of climate change in ecosystems, United States Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.2:15-34.

- Figat K., Szyga-Pluta K., 2015 – Charakterystyka warunków anemometrycznych w sezonie letnim na Mierzei Łebskiej. *Bad Fizjog. Geogr FizVI* (66):35-47.
- Førland E.J., Skaugen T.E., Benestad R.E., Hanssen-Bauer I., Tveito O.E., 2004 – Variations in thermal growing, heating, and freezing indices in the Nordic Arctic, 1900-2050. *Arct Antarct Alp Res* 36:347-356.
- Gordon R., Bootsma A., 1993 – Analyses of growing degree-days for agriculture in Atlantic Canada. *Clim Res* 3:169-176.
- Graczyk D., Pińskwar I., Choryński A., 2021 – Projected changes in Thermal Indices Related to the Agriculture and Energy Sectors. [W:] Falarz M. (red.) *Climate change in Poland. Past, present, future.* Springer Climate, Cham, ISBN 978-3-030-70327-1, 545-558.
- Gumiński R., 1948 – Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce. *Przegląd Meteorologiczno-Hydrologiczny* 1:7-20.
- Haggerty B., Mazer S.J., 2008 – *The Phenology Handbook.* University of California, Santa Barbara Phenology Stewardship Program Rep., 43 pp.
- IPCC, 2021 – Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds.)]. In Press.
- Irannezhad M., Kløve B., 2015 – Do atmospheric teleconnection patterns explain variations and trends in thermal growing season parameters in Finland? *Int J Climatol* 35(15):4619-4630. <https://doi.org/10.1002/joc.4311>.
- Jaagus J., 2006 – Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol* 83:77-88.
- Jaggard K.W., Qi A., Semenov M.A., 2007 – The impact of climate change on sugarbeet yield in the UK: 1976-2004. *J Agri Sci* 145:367-375.
- Janetos A., Hansen L., Inouye D., Kelly B.P., Meyerson L., Peterson B., Shaw R., 2008 – Biodiversity. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. *United States Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product* 4.3:151-182.
- Jeong S.J., Ho C.H., Gim H.J., Brown M.E., 2011 – Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperature vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982-2008. *Glob Chang Biol* 17:2385-2399. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02397.x.
- Jiao W., Wang L., Smith W.K., Chang Q., Wang H., D’Odorico P., 2021 – Observed increasing water constraint on vegetation growth over the last three decades. *Nat Commun* 12:3777. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24016-9>
- Kaczorowska Z., 1962 – Opady w Polsce w przekroju wieloletnim. *Prace Geograficzne* 33.
- Kaszewski B.M., 2000 – Ekstremalne temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym na Lubelszczyźnie [1951-1990]. *Acta Agrophys* 34:79-88.
- Karing P., Kallis A., Tooming H., 1999 – Adaptation principles of agriculture to climate change. *Clim Res* 12:175-183.
- Kępińska-Kasprzak M., Mager P., 2015 – Thermal growing season in Poland calculated by two different methods. *Ann Wars Agric Univ, Land Reclam* 47(3): 261-273. doi: 10.1515/sggw-2015-0030.
- Kolářová E., Nekovář J., Adamík P., 2014 – Long-term temporal changes in central European tree phenology (1946–2010) confirm the recent extension of growing seasons. *Int J Biometeorol* 58(8):1739-1748. doi: 10.1007/s00484-013-0779-z.

- Kolendowicz L., Bednorz E., Szyga-Pluta K., 2004 – Analysis of chosen cases of high daily rainfall in Słowiński National Park. *Questiones Geographicae*, 23, Wyd. Nauk. UAM, Poznań, 49-54.
- Kolendowicz L., Pórolniczak M., Kendzierski S., Szyga-Pluta K., Láska K., 2021 – Influence of Atmospheric Circulation on Cloudiness and Cloud Types in Petuniabukta and Svalbard-Lufthavn in Summer 2016. *Atmosphere* 12(6):724. DOI:10.3390/atmos12060724.
- Kolendowicz, L., Pórolniczak, M., Szyga-Pluta, K., Bednorz, E., 2018 – Human-biometeorological conditions in the southern Baltic coast based on the universal thermal climate index (UTCI). *Theor Appl Climatol* 134:1-2:363-379.
- Kossowska-Cezak U., 2005 – Zmiany termicznych pór roku w Warszawie w okresie 1933-2004. *Przegląd Geofizyczny* 50(3-4):265-277.
- Koźmiński C., Nidzgorska-Lencewicz J., Mąkosza A., Michalska B., 2021 – Ground Frosts in Poland in the Growing Season. *Agriculture* 11(7):573. DOI:10.3390/agriculture11070573.
- Krużel J., Ziernicka-Wojtaszek A., Ostrowski, K., 2015 – Zmiany czasu trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego w Polsce w latach 1971-2000 oraz 1981-2010. *Inżynieria Ekologiczna*, 44:47-52.
- Kus M., Felski B., 2018 – Zieleń w przestrzeni antropogenicznej jako element poprawy atrakcyjności społecznej i efektywności klimatycznej miasta. *Przestrzeń, Ekonomia, Społeczeństwo* 14/II:81-98.
- Linderholm H.W., 2006 – Growing season changes in the last century. *Agric For Meteorol* 137(1):1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.006>.
- Linderholm H.W., Walther A., Chen D., 2008 – Twentieth-century trends in the thermal growing season in the Greater Baltic area. *Clim Change* 87:405-419. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9327-3>.
- Lorenc H., 1994 – Ocena zmienności temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie 1901-1993 na podstawie obserwacji z wybranych stacji meteorologicznych w Polsce. *Wiadomości IMGW* 38:43-59.
- Mager P., Kopeć M., 2010 – Okres wegetacyjny w Polsce i Europie w dobie obserwowanego ocieplenia. [W:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.) *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 49-63.
- Mall R.K., Singh R., Gupta A., Srinivasan G., Rathore L.S., 2006 – Impact of climate change on Indian agriculture: A review. *Clim Chang* 78:445-478. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-9042-x>
- Marsz A.A., Żmudzka E. – Oscylacja Północnego Atlantyku a długość okresu wegetacyjnego w Polsce. *Przegląd Geofizyczny* 44(4):199-210.
- Menzel A., Fabian P., 1999 – Growing season extended in Europe. *Nature* 397:659-659. <https://doi.org/10.1038/17709>.
- Menzel A., Jakobi G., Ahas R., Scheifinger H., Estrella N., 2003 – Variations of the climatological growing season (1951–2000) in Germany compared with other countries. *Int J Climatol* 23:793-812. <https://doi.org/10.1002/joc.915>.
- Naumann S., Davis McKeena, Iwaszuk E., Freundt M., Mederake L., 2020 – Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu – narzędzia strategiczne. *Ecologic Institute i Fundacja Sendzimira*. Kraków. ISBN 978-83-62168-13-2.
- Niedźwiedz T., 1981 – Synoptic situations and their influence on spatial differentiation of the selected climatic elements in the Upper Vistula basin. *Rozprawy Habilitacyjne Uniwersytetu Jagiellońskiego* 58, Kraków.
- Nieróbca A., 2009 – Skutki zmian klimatycznych dla rolnictwa w Polsce – ocena zagrożeń. [W:] J. Kozyra, A. Nieróbca, K. Mizak (red.). *Zmiany klimatyczne a rolnictwo w Polsce – ocena zagrożeń i sposoby adaptacji*, Puławy, IUNG-PIB.

- Nieróbca A., Kozyra J., Mizak K., Wróblewska E., 2013 – Zmiana długości okresu wegetacyjnego w Polsce. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 13(2):81-94.
- Nowak B., Ptak M., Szyga-Pluta K., Sojka M., 2022 – How the Jeziorsko dam reservoir modified the flows of the Warta River in the context of climate change? *Buildings* 12(10):1624. DOI:10.3390/12101624.
- Olesen J.E., Trnka M., Kersebaum K.C., Skjelvåg A.O., Seguin B., Peltonen-Sainio P., Rossi F., Kozyra J., Micale F. 2011 – Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Europ J Agronomy* 34(2):96-112. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.11.003>
- Parmesan C., Yohe G., 2003 – A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421:37-42. doi: 10.1038/nature01286.
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., 2020 – Large zonal and temporal shifts in crops and cultivars coincide with warmer growing seasons in Finland. *Reg Environ Chang* 20:89. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01682-x>.
- Peng S., Huang J., Sheehy J.E., Laza R.C., Visperas R.M., Zhong X., Centeno G.S., Khush G.S., Cassman K.G., 2004 – Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc Natl Acad Sci USA* 101:9971-9975. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>.
- Peng D., Wu C., Li C., Zhang X., Liu Z., Ye H., Luo S., Liu X., Hu Y., Fang B., 2017 – Spring green-up phenology products derived from MODIS NDVI and EVI: Intercomparison, interpretation and validation using National Phenology Network and AmeriFlux observations. *Ecol Indic* 77:323-336. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.024>.
- Pińskwar I., 2010 – Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce. Komitet Gospodarki Wodnej PAN, 32, Warszawa.
- Półrolniczak M., Szyga-Pluta K., Kolendowicz L., 2016 – Bioklimat wybranych miast pasa Północno-Południowobałtyckich na podstawie uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego. *Acta Geographica Lodziensia*, 104:147-161.
- Qian B., Gameda S., 2010 – Canadian agroclimatic scenarios projected from a global climate model. 90th American Meteorological Society Annual Meeting, January 17-21, Atlanta, Georgia. Available online at ams.confex.com/ams/pdfpapers/165170.pdf.
- Radzka E., 2013 – Okresy termiczne w środkowo-wschodniej Polsce (1971-2005). *Acta Agrophys* 20(4):679-691.
- Radzka, E., 2014a – Ciągi dni bezopadowych w okresie wegetacyjnym w środkowo-wschodniej Polsce (1971-2005). *Acta Agrophys* 21(4):483-491.
- Radzka, E., 2014b – Tendencje zmian temperatury powietrza okresu wegetacyjnego w środkowo-wschodniej Polsce (1971-2005). *Acta Agrophys* 21(1):87-96.
- Reddy K.R., Hodges H.F., 2000 – *Climate Change and Global Crop Productivity*: CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, 488.
- Root T.L., Price J.T., Hall K.R., Schneider S.H., Rosenzweig C., Pounds J.A., 2003 – Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57-60.
- Russelle, M.P., Wilhelm, W.W., Olson, R.A. Power, J.F., 1984 – Growth analysis based on degree days. *Crop Sci* 24:28-32.
- Ryan M.G. and Coauthors, 2008 – Land resources: Forest and arid lands. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States, United States Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.3:75-120.
- Rykaczewska K., 2015 – The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. *Am J Potato Res* 92:339-349.

- Schwartz M.D., Ahas R., Aasa A., 2006 – Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Glob Change Biol* 12:343-351.
- Skaugen T.E., Tveito O.E., 2004 – Growing-season and degree-day scenario in Norway for 2021-2050. *Clim Res* 26(3):221-232. doi: 10.3354/cr026221.
- Skowera B., Kopeć B., 2008 – Okresy termiczne w Polsce południowowschodniej (1971–2000). *Acta Agrophys* 12(2):517-526.
- Stenseth N.C., Mysterud A., Ottersen G., Hurrell J.W., Chan K.S., Lima M., 2002 – Ecological effects of climate fluctuations. *Science* 297:1292-1296. DOI:10.1126/science.1071281.
- Sypniewska L., Szyga-Pluta K., 2018 – Zmienność czasowa i zróżnicowanie przestrzenne zachmurzenia w Polsce w latach 2001-2016. *Bad Fizjogr Geogr Fiz IX(69):189-210.*
- Szwed M., Karg G., Pińskwar I., Radziejewski M., Graczyk D., Kędziora A., Kundzewicz Z.W., 2010 – Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 10(8):1725-1737.
- Szwejkowski Z., Kuchar L., Dragańska E., Cymes I., Cymes I., 2017 – Current and future agroclimate conditions in Poland in perspective of climate change. *Acta Agrophys* 24(2):355-364.
- Szyga-Pluta K., 1999a – Częstość występowania poszczególnych rodzajów chmur w Poznaniu. *Bad Fizjogr nad Polską Zach T. 50, Seria A, Geogr Fiz, Wyd. PTPN, Poznań, 176-174.*
- Szyga-Pluta K., 1999b – Częstość występowania rodzajów chmur w Poznaniu w latach 1966-1990. [W:] *Zmiana i zmienność klimatu Polski. Ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka, Łódź, 251-257.*
- Szyga-Pluta K., 2001 – Analiza częstości występowania rodzajów chmur w strefie wybrzeża. *Roczniki Akad. Roln. w Poznaniu, CCCXXIX, Melioracje i Inżynieria Środowiska 21:201-207.*
- Szyga-Pluta K., 2002 – Częstość występowania rodzajów chmur w Polsce Północno-Zachodniej. *Ad rem, Poznań. ISBN 83-916342-0-5.*
- Szyga-Pluta K., 2003 – Cloud types in Kołobrzeg, Poznan and Wieluń in the months with the lowest and highest cloudiness. *Studia Geograficzne, 75, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 304-309.*
- Szyga-Pluta K., 2009 – Typy cyrkulacji atmosfery a rodzaje chmur w Poznaniu. *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach., T. 60, Seria A, Geogr. Fiz., Wyd. PTPN, Poznań, 133-146.*
- Szyga-Pluta K., 2010 – Zachmurzenie w Moskwie i Poznaniu. [W:] Kolendowicz L. (red.): *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Warunki cyrkulacyjne i radiacyjne. Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, 14, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, 157-170.*
- Szyga-Pluta K., 2011a – Termiczne pory roku w Poznaniu w latach 2001-2008. *Przegląd Geograficzny 83(1):109-119.*
- Szyga-Pluta K., 2011b – Warunki bioklimatyczne Wielkopolskiego Parku Narodowego w świetle wybranych wskaźników biometeorologicznych. *Prace i Studia WGSR UW 47:327-334.*
- Szyga-Pluta K., 2011c – Wielkość ochładzająca powietrza na wybrzeżu klifowym w rejonie Białej Góry w sezonach letnich 2008-2009 (Woliński Park Narodowy). *Bad Fizjogr I (62), Seria A, Geografia, Wyd. PTPN, Poznań, 27-41.*
- Szyga-Pluta K., 2011d – Zmienność termicznych pór roku w Poznaniu. *Bad Fizjogr I (62), Seria A, Geografia, Wyd. PTPN, Poznań, 181-195.*
- Szyga-Pluta K., 2014a – Charakterystyka stosunków nefologicznych w Moskwie. *Bad Fizjogr IV, A 65:231-243.*
- Szyga-Pluta K., 2014b – Zachmurzenie. [W:] Choiński A., Pociask-Karteczka J. (red.), *Morskie Oko - przyroda i człowiek. Wydawnictwa Tatrzańskiego Parku Narodowego, Zakopane: 197-207. ISBN 978-83-61788-89-8.*

- Szyga-Pluta K., 2015 – Circulation influence on cloudiness in Poznań. *Questiones Geographicae*, 34(3):141-149.
- Szyga-Pluta K., 2016 – Zachmurzenie w rejonie PN „Bory Tucholskie”. [W:] Choiński A., Kochanowska M., Marszelewski W. (red.): *Przyroda abiotyczna Parku Narodowego „Bory Tucholskie”*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 151-164.
- Szyga-Pluta K., 2017a – Przymrozki i okres bezprzymrozkowy w latach 2001-2016 na Stacji Ekologicznej w Jeziorach (Wielkopolski Park Narodowy). *Bad Fizjogr Geogr Fiz VIII (68)*:189-204.
- Szyga-Pluta K., 2017b – Variation of cloudiness in the mountain region on the example of the Sudetes. *Bad Fizjogr Geogr Fiz VIII (68)*:205-222.
- Szyga-Pluta K., 2017c - Występowanie uciążliwych warunków pogodowych w strefie polskiego wybrzeża Bałtyku. *Acta Balneologica LIX*, 4(150):360-368.
- Szyga-Pluta K., 2018 – Zmienność występowania susz w okresie wegetacyjnym w Polsce w latach 1966-2015. *Przegląd Geofizyczny LXIII*, 1-2:51-67.
- Szyga-Pluta K., 2022 – Assessment of Changing Agroclimatic Conditions in Poland Based on Selected Indicators. *Atmosphere* 13(8):1232. DOI:10.3390/atmos13081232.
- Szyga-Pluta K., 2022 – Cloudiness and cloud genera variability at the turn of the 21st century in Poznań (Poland). *Időjárás* 126(1):109-125. DOI:10.28974/idojaras.2022.1.6.
- Szyga-Pluta K., Pórolniczak M., 2013 – Evaluation of thermal conditions in Jezioro (the Wielkopolski National Park). *Quaestiones Geographicae* 32(1):33-42.
- Szyga-Pluta K., Tomczyk A.M., 2019a – Anomalies in the length of the growing season in Poland in the period 1966-2015. *Időjárás* 123(3):391-408.
- Szyga-Pluta K., Tomczyk A.M., 2019b – Warunki pluwialne w okresie wegetacyjnym w Polsce [W:] Kolendowicz L., Bednorz E. Tomczyk A.M. (red.) *Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 191-201.
- Szyga-Pluta K., Tomczyk A.M., Bednorz E., Piotrowicz K., 2022 – Assessment of climate variations in the growing period in Central Europe since the end of eighteenth century. *Theor Appl Climatol* 149:1785-1800. DOI:10.1007/s00704-022-04141-1.
- Szyga-Pluta K., Tomczyk A.M., Piotrowicz K., Bednorz E., 2023 – Patterns in the multiannual course of growing season in Central Europe since the end of the 19th century. *Quaestiones Geographicae* 42(1):59-74.
- Trnka M., Eitzinger J., Semerádová D., Hlavinka P., Balek J., Dubrovský M., Kubu G., Štěpánek P., Thaler S., Možný M., Žalud Z., 2011 – Expected changes in agroclimatic conditions in Central Europe. *Clim Chang* 108:261–289. DOI:10.1007/s10584-011-0025-9.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., Szyga-Pluta K., Owczarek M., 2023 – Effect of regional baric systems on the occurrence of bioclimatic conditions in Poland. *Quaestiones Geographicae* 42(2).
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., 2016 – Okres wegetacyjny w Polsce w latach 1971-2010. *Przegląd Geograficzny* 88(1):75-86.
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., 2017 – The period of intense vegetation growth and maturing of plants in north-western Poland. *Bad Fizjogr Geogr Fiz VIII (68)*:223-233.
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., 2018 – The period of intense vegetation in Poland in the years 1966-2015. *Bad Fizjogr Geogr Fiz IX(69)*:233-242.
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., 2019 – Variability of thermal and precipitation conditions in the growing season in Poland in the years 1966-2015. *Theor Appl Climatol* 135(3-4):1517-1530.
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., Bednorz E., 2019 – The effect of macro-scale circulation types on the length of the growing season in Poland. *Meteorol Atm Phys* 131(5):1315-1325.

- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., Bednorz E., 2020 – Occurrence and synoptic background of strong and very strong frost in spring and autumn in Central Europe. *Int J Biometeorol* 64:59-70. DOI:10.1007/s00484-019-01793-z.
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., Majkowska A., 2015 – Frost periods and frost-free periods in Poland and neighbouring countries. *Open Geosciences (formerly Central European Journal of Geosciences)*, 7(1):812-823.
- Trigo R.M., Osborn T.J., Corte-Real J., 2002 – The North Atlantic oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Clim Res* 20:9-17.
- Vega A.J., Rohli R.V., Wright E., 2020 – Changes in growing season in the Northeastern United States, *Phys Geogr* 41(4):343-364. doi:10.1080/02723646.2019.1672023.
- Walther A., Linderholm H.W., 2006 – A comparison of growing season indices for the Greater Baltic Area. *Int J Biometeorol* 51(2):107-118. doi:10.1007/s00484-006-0048-5.
- Ward J.H., 1963 – Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *J Amer Stat Assoc* 58:236-244.
- Węgrzyn A., 2007 – Ocena okresu wegetacyjnego na Lubelszczyźnie w latach 1951-1990. *An. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia* 62(1):23-30.
- Węgrzyn 2008 – Typowe i anomalne długości okresu wegetacyjnego na Lubelszczyźnie. *Acta Agrophys* 12(2): 561-573.
- Wibig J., 2020 – Współczesne zmiany klimatu – obserwacje, przyczyny, prognozy. [W:] Prandacki K., Burchard- Dziubińska M. (red.), *Zmiany klimatu – skutki dla polskiego społeczeństwa i gospodarki. Komitet Prognoz „Polska 2000 Plus” przy Prezydium PAN*, 13-46.
- Wilks D.S., 2011 – *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 3rd Edition, Academic Press, Oxford.
- Wysocki Cz., 2019 – Funkcjonowanie szaty roślinnej w warunkach miejskich *Przegląd Geograficzny*, 91(3):421-434. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2019.3.7>
- Xia J., Yan Z., Jia G., Zeng H., Jones P.D., Zhou W., Zhang A., 2015 – Projections of the advance in the start of the growing season during the 21st century based on CMIP5 simulations. *Adv Atmos Sci* 32(6):831-838. doi:10.1007/s00376-014-4125-0.
- Xia J., Yan Z., Wu P., 2013 – Multidecadal variability in local growing season during 1901–2009. *Clim Dyn* 41(2):295-305. doi:10.1007/s00382-012-1438-5.
- Yarnal B., 1993 – *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press: London.
- Zeileis, A., Leisch, F., Hornik, K., Kleiber, C., 2002 – *Strucchange: an R package for testing for structural change in linear regression models*. *J Stat Softw* 7(2):1-38. <https://doi.org/10.18637/jss.v007.i02>.
- Zhu M., Zhang J., Zhu L., 2021 – Variations in Growing Season NDVI and Its Sensitivity to Climate Change Responses to Green Development in Mountainous Areas. *Front Environ Sci* 9:678450. doi:10.3389/fenvs.2021.678450.
- Ziernicka-Wojtaszek A., 2009 – Weryfikacja rolniczo-klimatycznych regionalizacji Polski w świetle współczesnych zmian klimatu. *Acta Agrophys* 13(3):803-812.
- Ziernicka-Wojtaszek A., Zuśka Z., Krużel J., 2015 – Warunki termiczno-opadowe w okresie wegetacyjnym (1951-2010) na obszarze województwa podkarpackiego w świetle globalnego ocieplenia. *Acta Agrophys* 22(3):345-354.
- Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., Dudek S., 2012 – Tendencje zmian termicznych okresów rolniczych w rejonie Bydgoszczy. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3/I*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, 7-17.

Żarski J., Dudek S., Kuśmierk-Tomaszewska R., Bojar W., Knopik L., Żarski W., 2014 – Agroklimatyczna ocena opadów atmosferycznych okresu wegetacyjnego w rejonie Bydgoszczy. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3:643-656.

Żmudzka, E., Dobrowolska, M., 2001 – Termiczny okres wegetacyjny w Polsce –różnicowanie przestrzenne i zmienność czasowa. Przegląd Naukowy Wydziału Inżynierii i Kształtowania Środowiska, 21:75-80.

Żmudzka E., 2012 – Wieloletnie zmiany zasobów termicznych w okresie wegetacyjnym i aktywnego wzrostu roślin w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie 12, 2(38):377-389.

Katarzyna Szygalska