

AUTOREFERAT

(załącznik nr 2 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego)

1. Imię i nazwisko

Arkadiusz Marek Tomczyk

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

27.05.2017 – dyplom ukończenia podyplomowych studiów Geoinformacja na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tytuł pracy: *Przestrzenne zróżnicowanie temperatury powietrza w Poznaniu podczas wybranych fal upałów*

Promotor: prof. UAM dr hab. Alfred Stach

16.05.2017 – stopień doktora Nauk o Ziemi w zakresie geografii uzyskany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tytuł rozprawy: *Występowanie fal upałów w Europie oraz ich cyrkulacyjne i synoptyczne uwarunkowania*

Promotor: prof. dr hab. Ewa Bednorz, promotor pomocniczy: dr Marek Półrolniczak, recenzenci: prof. dr hab. Joanna Wibig (Uniwersytet Łódzki), dr hab. Katarzyna Piotrowicz (Uniwersytet Jagielloński)

Rozprawa wyróżniona przez Radę Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

08.05.2013 – tytuł magistra geografii uzyskany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Tytuł pracy: *Synoptyczne uwarunkowania występowania pokrywy śnieżnej w wybranych regionach Europy*

Promotor: prof. dr hab. Ewa Bednorz

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

Od **20.10.2017** – Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, adiunkt – etat badawczy

01.06.2019 – **31.08.2019** – staż naukowy w Deutscher Wetterdienst, Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung in Freiburg, Deutschland

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy

Cyrkulacyjne uwarunkowania ekstremalnych wartości temperatury powietrza w środkowej Europie

Na osiągnięcie naukowe składa się pięć recenzowanych publikacji naukowych, które zostały przygotowane i opublikowane 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] **Tomczyk A.M.**, Bednorz E., 2019. Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights. *International Journal of Climatology* 39 (11), 4189–4205. MNiSW 140 pkt., IF 3,601. Wkład pracy: 90%.

[A2] **Tomczyk A.M.**, 2018. Impact of Atmospheric Circulation on the Occurrence of Hot Nights in Central Europe. *Atmosphere* 9, 474. MNiSW 20 pkt. (obecnie 70 pkt.), IF 2,046. Wkład pracy: 100%.

[A3] **Tomczyk A.M.**, Bednorz E., Sulikowska A., 2019. Cold spells in Poland and Germany and their circulation conditions. *International Journal of Climatology* 39 (10), 4002–4014. MNiSW 140 pkt., IF 3,601. Wkład pracy: 65%.

[A4] Tomczyk A.M., Sulikowska A., Bednorz E., Półrolniczak M., 2019. Atmospheric circulation conditions during winter warm spells in Central Europe. *Natural Hazards* 96 (3), 1413–1428. MNiSW 70 pkt., IF 2,319. Wkład pracy: 60%.

[A5] 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. *International Journal of Biometeorology* 64 (1), 59–70. MNiSW 100 pkt., IF 2,377. Wkład pracy: 40%.

Sumaryczny Impact Factor osiągnięcia naukowego (zgodnie z rokiem opublikowania): **13,944**.

Sumaryczna liczba punktów za publikacje składające się na osiągnięcie naukowe według punktacji MNiSW (zgodnie z rokiem opublikowania): **470**.

Powyższe badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie umowy o numerze UMO-2017/24/C/ST10/00109.

Wprowadzenie

Tempo współcześnie zachodzących zmian klimatu wzrasta, na co wskazuje nie tylko rosnąca wartość trendu globalnej temperatury powietrza (IPCC 2013), ale również pojawiające się, w kolejno następujących po sobie latach, rekordowo wysokie wartości temperatury powietrza, co miało miejsce w drugiej dekadzie XXI wieku, w latach 2015, 2016, 2017 i 2018 (www.climate.nasa.gov). Rahmstorf i in. (2017) szczególnie podkreślają fakt, że nigdy wcześniej nie zdarzyło się kilka rekordowych lat z rzędu. NOAA (2020) wskazuje, że w latach 1880–2019, dziewięć z 10 najcieplejszych lat wystąpiło po 2000 roku, a najcieplejszym z nich był rok 2016.

Rezultatem obserwowanego ocieplenia jest coraz częstsze występowanie ekstremalnie wysokich wartości temperatury powietrza i ich przedłużonego trwania jako fal upałów. W ostatnich dziesięcioleciach w Europie wystąpiło kilka bardzo silnych fal upałów. Russo i in. (2015) zaliczyli do nich m.in. długotrwałe epizody o rozległym zasięgu z 1994, 2003, 2006, 2010 oraz 2015 roku.

Fala upałów z 1994 roku obejmowała głównie środkową Europę i jest dotychczas uważana za jedną z najintensywniejszych w tym regionie (Shevchenko i in. 2014, Lhotka i Kyselý 2015, Kuchcik 2017, Wibig 2018, Tomczyk i in. 2019a). Konsekwencją wysokiej temperatury powietrza, utrzymującej się przez kilka/kilkanaście dni był znaczący wzrost liczby zgonów. Szacuje się, że łączna liczba dodatkowych zgonów w dziesięciu największych miastach Polski wynosiła ponad 1070 osób (Graczyk i in. 2019). Kuchcik (2001) wykazała, że podczas omawianej fali upałów w Warszawie wzrost umieralności ogólnej wahał się na poziomie 33% w porównaniu do tego samego okresu w 1995 roku. W Czechach, podczas dwóch fal upałów w 1994 roku, odnotowany wzrost umieralności ogólnej w stosunku do oczekiwanej wynosił 10,3% w okresie od 17 do 30 czerwca i 12,3% od 24 lipca do 8 sierpnia. Jednakże szacuje się, że faktyczna liczba zgonów spowodowanych obciążeniem organizmów warunkami termicznymi stanowiła 50% wszystkich zanotowanych zgonów (Kyselý i Huth 2004).

Wyraźny wzrost zainteresowania falami upałów nastąpił po niezwykle upalnym lecie w 2003 roku w południowej i zachodniej Europie. W szczególności poważne konsekwencje dla zdrowia i życia ludzi spowodował okres wysokiej temperatury powietrza z pierwszej połowy sierpnia. W wielu krajach odnotowano wówczas zdecydowany wzrost umieralności, np. we Włoszech (Michelozzi i in. 2004), Francji (Vandentorren i in. 2004, Poumadere i in. 2005) i w Niemczech (Muthers i in. 2017). Szacuje się, że całkowita liczba dodatkowych zgonów spowodowanych obciążeniem organizmów warunkami biometeorologicznymi w 12 krajach Europy wyniosła ponad 80000, z czego ponad 45000 w samym sierpniu (Robine i in. 2007). W Paryżu rekordową liczbę zgonów, która przekroczyła o 600% średnią dzienną, odnotowano 13 sierpnia 2003 roku (Vandentorren i in. 2004, Twardosz 2009). Fala upałów z 2003 roku spowodowała również poważne konsekwencje w turystyce, np. w Hiszpanii oraz Francji, gdzie nastąpił spadek liczby turystów w południowych regionach, spowodowany wysoką temperaturą oraz wysokim ryzykiem pożarów. Z kolei wzrosła liczba turystów na północnych i północno-zachodnich wybrzeżach oraz w górach, gdzie warunki pogodowe były bardziej komfortowe (WMO 2005, UNWTO 2008).

W ostatnich latach równie intensywna fala upałów wystąpiła w sierpniu 2015 roku, przede wszystkim na obszarze rozciągającym się od wschodnich Niemiec do zachodniej Ukrainy (Hoy i in. 2017). Russo i in. (2015) uznali ją za jedną z najcięższych fal upałów w Europie od 1950 roku. Podobnie w Polsce przedłużający się okres wysokiej temperatury w 2015 roku zaliczany jest do najbardziej intensywnych fal upałów w ostatnich

dziesięcioleciach (Krzyżewska i Dyer 2018, Wibig 2018, Tomczyk i in. 2019a). Podobnie jak w przypadku wcześniejszych epizodów, fala ta spowodowała znaczący wzrost liczby zgonów w środkowej Europy (Urban i in. 2017, 2019), wywołała również poważne konsekwencje w gospodarce. Pierwszy raz od lat osiemdziesiątych XX wieku bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej w Polsce zostało zagrożone, w efekcie czego wprowadzono stopnie zasilania (Sobik 2018).

Kolejną konsekwencją obserwowanego ocieplenia jest zmniejszanie się liczby dni mroźnych oraz fal mrozów, lecz zmiany te nie są tak intensywne i spektakularne jak opisane wzrosty temperatury w okresie letnim. Prowadzone dotychczas w Polsce badania wskazują na zmniejszanie się liczby dni mroźnych, jednak na przeważającym obszarze kraju zmiany te nie są istotne statystycznie (Matuszko i Piotrowicz 2012, Tomczyk 2015a, 2016b). Bardziej wyraźne trendy obserwuje się w częstotliwości występowania dni z silnymi mrozami (Bielec-Bąkowska i Łupikasza 2009, Bielec-Bąkowska i Piotrowicz 2013, Kossowska-Cezak 2014). Podobny kierunek zmian w częstotliwości występowania dni mroźnych został wykazany m. in. w Czechach (Mužíková i in. 2011, Stěpánek i in. 2011), na Łotwie (Avotniece i in. 2012) oraz w Niemczech (Kundzewicz i Józefczyk 2008, Kudzewicz i Huang 2010). Jak wykazali Tomczyk i in. (2019a) w Polsce fale mrozów najczęściej występowały do lat 90. XX wieku, natomiast najrzadziej w dwóch ostatnich 10-leciach. Na spadek liczby fal mrozów w Polsce wskazywano także we wcześniejszych badaniach (Wibig i in. 2009, Tomczyk i Bednorz 2014a, Tomczyk 2016b). Podobny kierunek zmian częstotliwości występowania fal mrozów odnotowano również w innych regionach środkowej Europy (Lhotka i Kyselý 2015, Spinoni i in. 2015).

Zarówno występowanie fal upałów w lecie, jak i fal mrozów w zimie stanowi duże zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka, a także powoduje duże straty ekonomiczne w wielu sektorach gospodarki (WMO 2005, UNWTO 2008). W rolnictwie szczególnie groźne jest występowanie wiosennych i jesiennych przymrozków. Uważane są one za jedne z najbardziej niebezpiecznych warunków pogodowych dla roślin w okresie wegetacyjnym (Dudek i in. 2012, Chmielewski i in. 2018). Możliwość wystąpienia późnych przymrozków wiosennych w połączeniu z coraz częstszymi łagodnymi zimami stanowi wyzwanie nawet dla mrozoodpornych gatunków roślin (Burroughs 2002). Zagrożenie dla roślin uprawnych przez przymrozki występuje głównie w stadium ich wschodzenia i zakwitania, a u niektórych gatunków także w stadium dojrzewania (Koźmiński i Trzeciak 1971). Wiosenny wzrost temperatury powietrza wywołuje początek rozwoju ontogenetycznego, wzrasta zawartość wody w pąkach i w konsekwencji pojawiają się na nich pierwsze widoczne zmiany

(Chmielewski i Götz 2017). Na tym etapie rozwoju odporność pąków roślinnych na zimno stale maleje (Dennis i Howell 1974, Proebsting i Mills 1978, Miranda i in. 2005, Rigby i Porporato 2008, Chmielewski i in. 2018). Wystąpienie przymrozków przed rozpoczęciem kwitnienia może spowodować obrażenia pąków kwiatowych, ale szkody są mniejsze niż w okresie kwitnienia, kiedy przymrozki mogą doprowadzić do całkowitej utraty plonów (Chmielewski i in. 2004, Matzneller i in. 2016). Jak wskazuje Proebsting (1982) nawet pojedynczy przymrozek może doprowadzić do strat w wydajności do 90% w przypadku produkcji owoców pestkowych. Ponadto przymrozki wywołują ogólne osłabienie organizmu roślinnego, konsekwencją czego jest obniżenie jego odporności zarówno na choroby jak i działanie niekorzystnych warunków środowiska (Kreyling i in. 2012, Doroszewski i in. 2013).

Zachodzące ocieplenie klimatu wpływa na spadek liczby dni z przymrozkiem (Bielec-Bąkowska i Łupikasa 2009, Tomczyk i in. 2015, Wypych i in. 2017), aczkolwiek zanotowane zmiany nad przeważającym obszarem badań nie są istotne statystycznie. Liczne badania zarówno z obszaru Polski jak i środkowej Europy wskazują na coraz wcześniejsze pojawianie się ostatniego przymrozka wiosennego oraz coraz późniejszego występowania pierwszego przymrozka jesiennego (Tomczyk i in. 2015, Wypych i in. 2017, Bielec-Bąkowska i in. 2018). Konsekwencją występujących zmian jest wydłużenie okresu bezprzymrozkowego, które najintensywniej przebiega m.in. w południowych regionach Polski i Niemiec (Wypych i in. 2017, Bielec-Bąkowska i in. 2018).

Jednym z najważniejszych czynników kształtujących warunki pogodowe i klimatyczne jest cyrkulacja atmosferyczna (Niedźwiedz 1981, Yarnal 1993). W umiarkowanej strefie klimatycznej szczególnie istotne znaczenie dla występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych mają silne wyże i sytuacje blokadowe, które poprzez przerwanie cyrkulacji strefowej modyfikują warunki meteorologiczne danego regionu (Bielec-Bąkowska 2014). W ostatnich dekadach widoczny jest wyraźny wzrost częstości układów blokadowych nad Europą i równoczesny spadek liczby układów niskiego ciśnienia na południe od 55°N (Leckebusch i Ulbrich 2004, Leckebusch i in. 2008, Bielec-Bąkowska 2014). Konsekwencją układów blokadowych jest występowanie anomalii temperatury powietrza – w lecie najczęściej fal upałów, a zimą fal mrozów (Porębska i Zdunek 2013, Bielec-Bąkowska 2014, Dizerens i in. 2017).

Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki termiczne oraz występowanie ekstremów termicznych od dawna stanowi przedmiot wielu analiz (Porębska i Zdunek 2013, Unkašević i Tošić 2015, Tomczyk i Bednorz 2016, Zyulyaeva i in. 2019). W podejmowanych badaniach

bardzo często koncentrowano się na analizie ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza oraz wysokości wybranych powierzchni izobarycznych, głównie poziomu 500 hPa oraz 700 hPa, w czasie występowania analizowanego zjawiska (Wibig 2007, Unkašević i Tošić 2009, 2015, Tomczyk 2014a, Wibig 2018). Próbę uwzględnienia warunków barycznych w wyższych warstwach troposfery podjęli badacze z Chin, którzy analizowali sytuacje zarówno podczas fal upałów i fal mrozów, jak również w dniach poprzedzających ich wystąpienie (Qian i in. 2016, Chen i in. 2017). Autorzy wykazali że największe anomalie wysokości powierzchni izobarycznych występowały w górnej troposferze, przy jednoczesnych maksymalnych anomaliach temperatury powietrza na poziomach przygruntowych. Szczegółowe badania formowania się zaburzeń w górnej troposferze dowiodły, że występują one kilka dni przed wystąpieniem fal upałów i fal mrozów, a w skrajnych przypadkach nawet z wyprzedzeniem 20 dni w przypadku fal upałów i 26 dni w przypadku fal mrozów. Dokładne rozpoznanie systemów anomalii w troposferze może posłużyć do lepszego prognozowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, trzeba jednak pamiętać, że siła sygnałów w górnej troposferze zależy w dużym stopniu od wartości progowej zastosowanej przy wydzieleniu zjawiska pogodowego (Qian i in. 2013, Qian i Jiang 2014).

Jak wskazano powyżej, zachodzące zmiany klimatu przejawiają się coraz częstszym występowaniem fal upałów przy jednoczesnym spadku częstości fal mrozów, a także spadkiem częstości i skróconym sezonem występowania przymrozków. W obliczu tych wyników zasadnym było podjęcie szczegółowych badań warunków cyrkulacyjnych i synoptycznych powodujących występowanie analizowanych zjawisk. Za najważniejsze elementy prowadzonych badań należy uznać dokładne zidentyfikowanie warunków barycznych występujących nie tylko podczas analizowanych zjawisk, ale także w dniach poprzedzających ich występowanie. Ze względu na duże zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka, a także duże straty gospodarcze jakie wiążą się z występowaniem ekstremalnych zjawisk pogodowych, prezentowane wyniki badań mogą być przydatne dla szerokiej i zróżnicowanej grupy odbiorców.

Cel badań

Głównym celem badań było określenie warunków barycznych powodujących występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych w środkowej Europie w latach 1966–2015 (1966/67–2015/16). Za ekstremalne zjawiska pogodowe przyjęto: fale upałów, noce gorące, fale mrozów, fale ciepła zimą oraz silne i bardzo silne przymrozki wiosną i jesienią.

Na osiągnięcie powyższego celu składała się realizacja celów cząstkowych:

- określenie czasowej i przestrzennej zmienności występowania analizowanych zjawisk pogodowych;
- określenie ogólnych warunków cyrkulacyjnych powodujących ich występowanie;
- określenie anomalii wysokości powierzchni izobarycznych i anomalii temperatury powietrza na analizowanych poziomach izobarycznych podczas rozpatrywanych zjawisk pogodowych;
- określenie zakresu czasowego i obszarów występowania anomalii wysokości powierzchni izobarycznych oraz temperatury powietrza, poprzedzających wystąpienie badanych zdarzeń;
- określenie cyrkulacyjnych uwarunkowań zakończenia wybranych zjawisk pogodowych.

Definicje analizowanych zjawisk pogodowych

Ekstremalne zjawiska pogodowe (termin rozumiany zgodnie z definicją IPCC, 2001, za Ustrnul i Czekierda 2009), pomimo, że występują na całym świecie (lub może właśnie dlatego), nie mają spójnej, powszechnej definicji i wydzielane są w oparciu o różne kryteria. W literaturze klimatologicznej dominują dwie grupy definicji. Pierwszą z nich stanowią definicje bazujące na progach arbitralnych, a więc konkretnych wartościach temperatury powietrza, najczęściej maksymalnej dobowej lub minimalnej dobowej. Drugą grupę stanowią definicje odnoszące się do progów względnych. Większość definicji w tej grupie bazuje na kryterium ekstremalnego zjawiska pogodowego zaproponowanego przez IPCC (2007): zjawisko pogodowe, które występuje tak rzadko na danym terenie i w danej porze roku, że mieści się w przedziale wartości 10. lub 90. percentyla zaobserwowanej funkcji gęstości prawdopodobieństwa lub rzadziej. W prezentowanych badaniach bazowano zarówno na definicjach z pierwszej jak i drugiej grupy. W poszczególnych pracach przyjęto następujące definicje:

[A1] **fala upałów** – ciąg przynajmniej trzech dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza powyżej 30°C;

[A2] **noc gorąca** – doba z minimalną temperaturą powietrza powyżej 18°C;

[A3] **fala mrozów** – ciąg przynajmniej trzech dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza poniżej 5. percentyla lokalnej funkcji gęstości prawdopodobieństwa wyznaczonej z obserwacji;

[A4] **fala ciepła** (zimą) – ciąg przynajmniej trzech dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza powyżej 95. percentyla funkcji gęstości prawdopodobieństwa wyznaczonej z obserwacji.

[A5] **dzień z przymrozkiem** – dzień z temperaturą minimalną poniżej 0°C i z temperaturą maksymalną powyżej 0°C.

Dane źródłowe i metody badań

Badania przeprowadzono na podstawie dobowych wartości maksymalnej (Tmax) i minimalnej (Tmin) temperatury powietrza z 40 stacji położonych w środkowej Europie z okresu 1966–2016 (Fig. 1). Dane sprawdzone pod względem jakości i homogeniczności pozyskano z zasobów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW–PIB) dla stacji w Polsce oraz Deutscher Wetterdienst (DWD) dla stacji w Niemczech.

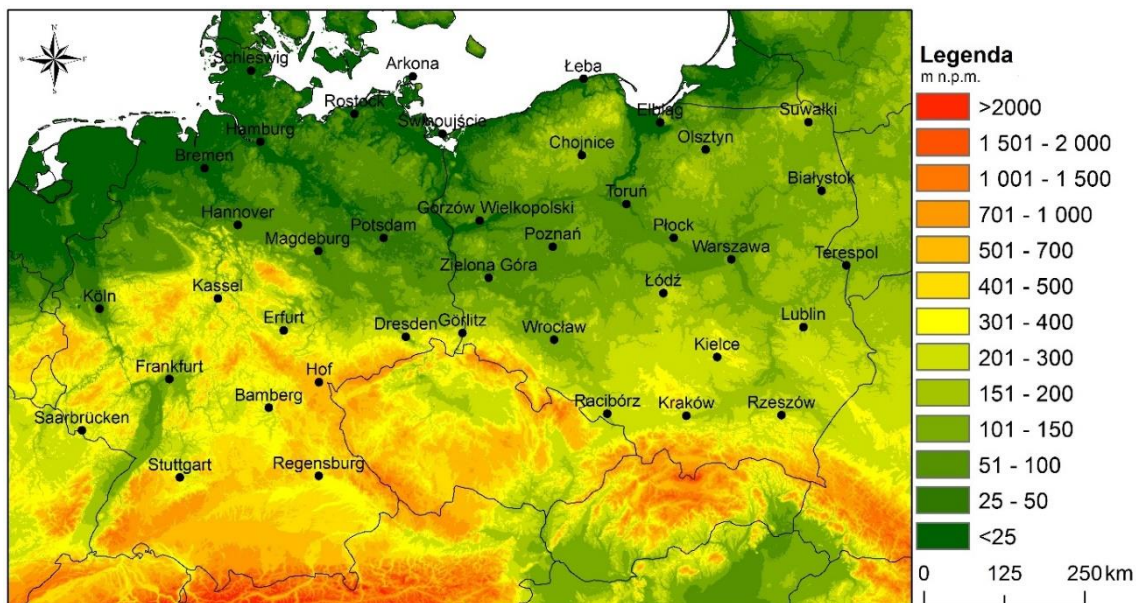


Fig. 1. Położenie stacji meteorologicznych

Do analizy warunków barycznych wykorzystano średnie dobowe wartości ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza oraz wysokości powierzchni izobarycznych: 1000, 925,

850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70 hPa oraz temperatury powietrza na wskazanych poziomach. Dane dla punktów węzłowych siatki geograficznej $2,5 \times 2,5^\circ$ dla obszaru $25-75^\circ\text{N}$ i $35^\circ\text{W}-65^\circ\text{E}$ wykorzystano ze zbiorów National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis (Kalnay i in. 1996) dostępnych w archiwach NOAA ESRL PSD (Earth System Research Laboratory Physical Science Division).

W pierwszej kolejności na podstawie danych z pomiarów naziemnych (stacyjnych), zgodnie z przyjętą definicją, zidentyfikowano analizowane zjawisko pogodowe, a następnie scharakteryzowano jego występowanie w badanym wieloleciu. Zmiany temperatury powietrza oceniono przy użyciu regresji liniowej, a istotność trendów sprawdzono testem t-Studenta. Z kolei do oceny tendencji zmian liczby dni charakterystycznych wykorzystano nieparametryczny test Mann-Kendall'a służący do analizy danych o rozkładzie odbiegającym od normalnego, a ich istotność statystyczną oceniono metodą Sen'a na poziomie $\alpha=0.05$.

W każdej pracy [A1–A5] wykreślono przekroje przez troposferę (od poziomu 1000 hPa do poziomu 70 hPa) z anomaliami wysokości geopotencjałów i temperatury powietrza wzdłuż trzech południków ($10, 15, 20^\circ\text{E}$) i jednego równoleżnika ($52,5^\circ\text{N}$). Następnie wykreślono średnie mapy ciśnienia na poziomie morza (SLP) i wysokości powierzchni izobarycznej 300 hPa (z300 hPa) oraz mapy anomalii powyższych parametrów i temperatury powietrza na powierzchni izobarycznej 850 hPa (T850) dla wszystkich analizowanych przypadków. W pracy dotyczącej fal ciepła zimą [A4] oraz silnych i bardzo silnych przymrozków wiosną i jesienią [A5] wysokość poziomu izobarycznego 300 hPa została zastąpiona, odpowiednio poziomem 250 hPa oraz 500 hPa. Wszystkie anomalie wyliczono jako różnicę pomiędzy średnią wartością danego parametru w konkretnym dniu, a jego średnią wartością z wielolecia w danym dniu roku. W kolejnym kroku przeprowadzono szczegółowe analizy warunków barycznych powodujących występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych poprzez wyznaczenie typów cyrkulacji [A1, A2, A5]. W tym celu przeprowadzono grupowanie poszczególnych przypadków pod względem wartości ciśnienia na poziomie morza, stosując metodę minimalnych wariancji, znaną jako metoda Warda (1963). W badaniach wykorzystano standaryzowane wartości SLP. Standaryzacji dokonano, aby wyrównać sezonową zmienność, przy jednoczesnym zachowaniu intensywności pola ciśnienia (Esteban i in. 2005). Metody grupowania, m.in. metoda Warda znajdują często zastosowanie w klimatologii, np. przy wydzieleniu sezonów i regionów klimatycznych oraz wyróżnianiu typów pogody (Tomczyk i Bednorz 2016, Bednorz i in. 2019c).

W pracy [A1] wydzielono typy cyrkulacji, poprzez grupowanie poszczególnych fal upałów pod względem wartości ciśnienia na poziomie morza. Dla wydzielonych typów wykreślono mapy średniego SLP, z300 hPa i T850, a także mapy anomalii. Następnie dla każdego wydzielonego typu wykonano uśrednione mapy anomalii SLP, z300 hPa i T850 w dniach poprzedzających wystąpienie fal upałów, a także w dniach następujących po zakończeniu fal upałów.

W pracy [A2] wydzielono typy cyrkulacji, poprzez grupowanie poszczególnych fal nocy gorących pod względem wartości ciśnienia na poziomie morza. Dla wydzielonych typów wykreślono mapy średniego SLP, z300 hPa i T850, a także mapy anomalii. Następnie wykonano uśrednione dla wydzielonych typów mapy anomalii SLP, z300 hPa i T850 w dniach poprzedzających wystąpienie nocy gorących.

W pracy [A3] wykonano uśrednione dla wszystkich fal mrozów mapy anomalii SLP, z300 hPa i T850 w dniach poprzedzających ich wystąpienie, a także w dniach następujących po ich zakończeniu. Dla każdej fali mrozów wykreślono szlaki przemieszczania się centrów anomalii z300 hPa w dniach poprzedzających ich występowanie oraz w pierwszym dniu fali.

W pracy [A4] wykonano uśrednione dla wszystkich fal ciepła mapy anomalii SLP, z250 hPa i T850 w dniach poprzedzających ich wystąpienie. W kolejnym kroku dla każdej fali ciepła wykreślono szlaki przemieszczania się centrów anomalii z250 hPa w dniach poprzedzających ich występowanie oraz w pierwszym dniu fali.

W pracy [A5] wydzielono typy cyrkulacji, poprzez grupowanie poszczególnych dni pod względem wartości ciśnienia na poziomie morza. Dla wydzielonych typów wykreślono mapy średniego SLP, z500 hPa i T850, a także mapy anomalii. Następnie dla najdłuższych ciągów dni (fal) z przymrozkiem silnym i bardzo silnym wykonano mapy ze szlakami przemieszczania się centrów anomalii T850 w dniach poprzedzających ich wystąpienie na badanym obszarze.

Wyniki badań

[A1] Tomczyk A.M., Bednorz E., 2019. **Heat waves in Central Europe and tropospheric anomalies of temperature and geopotential heights**. *International Journal of Climatology* 39 (11), 4189–4205

W badanym wieloleciu (1966–2016) w środkowej Europie stwierdzono wzrost T_{max} w sezonie letnim, który na przeważającym obszarze był istotny statystycznie. Najintensywniejsze zmiany wystąpiły w południowych regionach Niemiec i Polski, z maksimum w Regensburg ($0,78^{\circ}\text{C}/10$ lat) oraz Krakowie ($0,62^{\circ}\text{C}/10$ lat). Z kolei najslabiej zmiany te przebiegały w północno-zachodniej części badanego obszaru.

Obserwowane ocieplenie przełożyło się na wzrost częstości dni upalnych i tym samym zwiększenie liczby fal upałów. W większości analizowanych stacji maksymalną liczbę dni upalnych notowano po roku 2000, przede wszystkim w latach 2015, 2010, 2003 i 2006. Najwięcej fal upałów notowano na południu Niemiec i Polski, natomiast najmniej w regionach północnych, w szczególności na wybrzeżu. W badanym wieloleciu ani jednej fali upałów nie odnotowano w Arkonie, natomiast najliczniej występowały one we Frankfurcie. Analizując występowanie fal upałów w poszczególnych 10-leciach rozpatrywanego wielolecia stwierdzono, że najmniej fal występowało w latach 1976–1985 (głównie na obszarze Polski i we wschodnich regionach Niemiec) oraz w latach 1966–1975 (przeważający obszar Niemiec). Z kolei w zdecydowanej większości stacji najwięcej fal upałów wystąpiło w latach 2006–2015.

Występowanie fal upałów związane było z wyższym niż przeciętnie zaleganiem powierzchni izobarycznych nad przeważającym obszarem kontynentu. Największe anomalie wysokości geopotencjałów (>170 m) występowały na poziomie 250 hPa. Centrum anomalii swoim zasięgiem obejmowało północne regiony badanego obszaru. Zdecydowana większość kontynentu pozostawała również w zasięgu dodatnich anomalii temperatury powietrza. Największe odchylenia temperatury powietrza od średniej z wielolecia notowano na najniższych poziomach izobarycznych, 1000–850 hPa, gdzie maksymalnie przekraczały one $6,5^{\circ}\text{C}$.

Przeciętnie w trakcie występowania fal upałów w środkowej Europie w sektorze euroatlantyckim dominował klin wysokiego ciśnienia, w obrębie którego wykształcił się lokalny wyż, z centrum ulokowanym nad pograniczem Litwy, Łotwy i Morza Bałtyckiego (>1018 hPa). Szczegółowe badania wykazały, że występowanie fal upałów w środkowej Europie związane było z dwoma typami cyrkulacji. W typie 1 nad kontynentem zalegał

rozbudowany klin wysokiego ciśnienia związany z Wyżem Azorskim, w obrębie którego wykształcił się lokalny wyż (>1018 hPa). Z kolei w typie 2 silnie oddziaływał wyż nad Skandynawii, z centrum nad pograniczem Norwegii i Morza Norweskiego (>1022 hPa).

Dalsze badania wykazały również różnice pomiędzy wydzielonymi typami w kształtowaniu się anomalii wysokości geopotencjałów w górnej troposferze w dniach poprzedzający wystąpienie fal upałów w środkowej Europie. W obu typach początek formowania zaburzeń górno-troposferycznych zaczynał się nad Oceanem Atlantyckim, aczkolwiek w typie 1 głównie w rejonie Wysp Azorskich, natomiast w typie 2 nad obszarem położonym dalej na północ. W typie 1 początek formowania notowano około 5 dni przed wystąpieniem fali, a w typie 2 około 8 dni. Centra anomalii przemieszczały się w kolejnych dniach w kierunku wschodnim, wyraźnie się umacniając. Zakończenie fal upałów związane było z przemieszczaniem się omawianych anomalii wysokości geopotencjałów w kierunku południowo-wschodnim w typie 1 i północno-zachodnim w typie 2 oraz ich stopniowym zanikiem.

[A2] Tomczyk A.M., 2018. **Impact of Atmospheric Circulation on the Occurrence of Hot Nights in Central Europe**. *Atmosphere* 9, 474

W pracy przeanalizowano występowanie nocy gorących w sezonie letnim w środkowej Europie. Przeprowadzone badania wykazały wzrost T_{max} w lecie, który przełożył się na częstsze występowanie nocy gorących. W większości stacji odnotowane zmiany były istotne statystycznie. W XXI wieku nastąpił wyraźny wzrost częstości nocy gorących i jego przejawem było m. in. wystąpienie na przeważającym obszarze maksymalnej sezonowej liczby nocy gorących po roku 2000.

Do analizy warunków barycznych wybrano tylko ciągi co najmniej 3 nocy gorących (fale nocy gorących), które wystąpiły przynajmniej w 20% stacji. Przeprowadzone badania wykazały, że występowanie fal nocy gorących w środkowej Europie związane było przeciętnie z klinem wysokiego ciśnienia, w obrębie którego wykształcił się lokalny wyż. Szczegółowa analiza pozwoliła wyróżnić dwa typy cyrkulacji powodujące adwekcję ciepłych mas powietrza nad obszar badań podczas wstępowania omawianych fal.

Podczas występowania fal nocy gorących największe anomalie wysokości geopotencjałów notowano w górnej troposferze. Z kolei w dolnej troposferze, z niewielkim przesunięciem na południe względem centrum anomalii geopotencjałów, notowano dodatnie

anomalie temperatury powietrza. Ich najwyższe wartości występowały na najniższych poziomach izobarycznych, 1000–850 hPa, gdzie maksymalnie przekraczały 6°C.

Wydzielone typy cyrkulacji różniły się nie tylko odmiennymi układami barycznymi w trakcie występowania fal nocy gorących, ale także w dniach poprzedzających. W typie 1 początek tworzenia się anomalii na poziomie izobarycznym 300 hPa notowano średnio 9 dni przed wystąpieniem fal nocy gorących. Ich formowanie następowało nad Oceanem Atlantyckim na południe od Wysp Azorskich. W kolejnych dniach centrum anomalii przemieszczało się w kierunku południowo-wschodnim, stopniowo się umacniając. W typie 2 anomalie z300 hPa przeciętnie formowały się około 6 dni przed wystąpienia fal nocy gorących w środkowej Europie. Podobnie jak w typie 1 formowały się nad Oceanem Atlantyckim, jednak obszar źródłowy był przesunięty na północ (poza 50°N). W kolejnych dniach centrum anomalii przemieszczało się w kierunku wschodnim, a następnie w kierunku północno-wschodnim.

Opisane warunki baryczne generowały adwekcję mas powietrza przede wszystkim z sektora południowo-zachodniego. W typie 1 występowały większe anomalie temperatury niż w typie 2, co wskazuje na napływ cieplejszych mas powietrza.

[A3] Tomczyk A.M., Bednorz E., Sulikowska A., 2019. **Cold spells in Poland and Germany and their circulation conditions**. *International Journal of Climatology* 39 (10), 4002–4014

W badanych latach wykazano wzrost maksymalnej dobowej temperatury powietrza w sezonie zimowym w środkowej Europie, jednak był on istotny statystycznie jedynie w południowych Niemczech i trzech stacjach na północy i wschodzie Polski. Obserwowane nieznaczne ocieplenie wpłynęło w niewielkim stopniu na zmiany liczby dni mroźnych. Badania wykazały spadek liczny dni mroźnych na południu Niemiec oraz w Bremen i Magdeburgu, spadek następował najszybciej w Regensburgu i tylko tam był istotny statystycznie.

Przestrzenne zróżnicowanie występowania fal mrozów było na badanym obszarze znaczące. Większą częstością fal mrozów cechowała się północna część obszaru badań, a mniejszą południowa, natomiast większą w porównaniu do innych regionów całkowitą długością fal mrozów charakteryzowała się północna Polska (z wyjątkiem stacji położonych na wybrzeżu). W przebiegu wieloletnim dużą liczbą długotrwałych fal mrozów, które wystąpiły na całym rozpatrywanym obszarze, wyróżniały się zimy: 1969/1970, 1984/1985, 1995/1996

(poza południowymi Niemcami) oraz 2010/2011 (z dużą liczbą fal mrozów zwłaszcza na północy).

Przeprowadzone badania dowiodły, że występowanie fal mrozów w środkowej Europie związane było ze znacznie aktywniejszymi i intensywnymi układami barycznymi niż przeciętnie w sezonie zimowym w badanych latach. Nad przeważającym obszarem kontynentu zalegał blokujący cyrkulację zachodnią silny układ wyżowy, w centrum którego SLP było wyższe o ponad 16 hPa niż przeciętnie.

Wykazano, że maksymalne anomalie wysokości powierzchni izobarycznych występowały w górnej troposferze i pojawiały się one z kilkudniowym wyprzedzeniem, średnio około 9 dni. Zazwyczaj centrum tych anomalii kształtowało się nad środkową Europą w obrębie rozległego obszaru ujemnych anomalii. Część z analizowanych fal mrozów poprzedzona była wyraźnym szlakiem przemieszczania się centrum anomalii, które tworzyły się na kilka lub kilkanaście dni przed falą mrozów.

Opisana sytuacja baryczna oprócz adwekcji kontynentalnych mas powietrza powodowała silne wypromieniowanie ciepła z podłoża przy małym zachmurzeniu bądź przy jego braku, co jest charakterystyczne dla pogody antycyklonalnej. Wskazują na to anomalie temperatury powietrza wykreślone w przekroju poprzecznym przez troposferę. Największe wartości anomalii notowano na najniższych poziomach izobarycznych, na których temperatura powietrza była niższa od średniej wieloletniej nawet o ponad 10°C.

[A4] Tomczyk A.M., Sulikowska A., Bednorz E., Półrolniczak M., 2019. **Atmospheric circulation conditions during winter warm spells in Central Europe**. *Natural Hazards* 96 (3), 1413–1428

Jak wykazano we wcześniejszej pracy [A3] w sezonie zimowym w środkowej Europie nastąpił wzrost maksymalnej dobowej temperatury powietrza, jednak zmiany te w większości stacji nie były istotne statystycznie. Obserwowane nieznaczne ocieplenie zim przełożyło się na wzrost liczby dni ciepłych. W zdecydowanej większości stacji odnotowane zmiany były istotne statystycznie, a największy wzrost stwierdzono na północy badanego obszaru.

W badanym wieloleciu notowano przeciętnie od 3 do 5 zimowych fal ciepła na 10 lat. Największą liczbą fal ciepła charakteryzowały się zimy 1989/1990, 2006/2007 i 2015/2016,

jednakże tylko podczas sezonu 1989/1990 fale ciepła wystąpiły na wszystkich stacjach i było ich od 2 do 4 na każdej z nich.

W trakcie występowania fal ciepła zimą w środkowej Europie sektor euroatlantycki znajdował się pod wpływem dwóch rozbudowanych układów barycznych – rozległego niżu z centrum nad północnym Atlantykiem oraz silnego wyżu z centrum nad północną Afryką. W analizowanych dniach wymienione układy baryczne były bardziej intensywne niż średnio w rozpatrywanym okresie wieloletnim, na co wskazuje rozkład anomalii SLP. W centrum niżu SLP było niższe niż przeciętnie o ponad 14 hPa.

Podczas występowania fal ciepła, nad obszarem badań notowano dodatnie anomalie wysokości powierzchni izobarycznych w przekroju całej troposfery, co było konsekwencją obecności ciepłych mas powietrza. Największe anomalie odnotowano na poziomie 250 hPa. Obecność ciepłych mas powietrza potwierdzają anomalie temperatury, których największe wartości notowano na poziomach 1000–850 hPa. Ciepłe powietrze zalegało nad przeważającym obszarem kontynentu, a maksimum dodatnich odchyłeń temperatury notowano nad środkową Europą ($>7^{\circ}\text{C}$).

Anomalie na powierzchni izobarycznej 250 hPa przeciętnie tworzyły się 9 dni przed rozpoczęciem fal ciepła w środkowej Europie. Szlaki przemieszczania się centrów anomalii z 250 hPa w poszczególnych falach ciepła różniły się między sobą nie tylko długością, ale także szlakiem wędrówki. W zdecydowanej większości analizowanych przypadków formowanie się zaburzeń w górnej troposferze następowało nad Oceanem Atlantyckim w rejonie Wysp Azorskich. W kolejnych dniach centra dodatnich anomalii przemieszczały się w kierunku wschodnim i północno-wschodnim. Prędkość i kierunek ich przesuwania był modyfikowany przez dynamikę całego pola z 250 hPa nad badanym obszarem, a zwłaszcza przez lokalizację i siłę ujemnych anomalii z 250 hPa. Opisana powyżej sytuacja baryczna generowała adwekcję ciepłych mas powietrza z południowego zachodu, co potwierdzają anomalie T850, przemieszczające się na północny wschód w dniach poprzedzających fale ciepła.

[A5] 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.** *International Journal of Biometeorology* 64 (1), 59–70

Przeprowadzone badania wykazały przestrzenne zróżnicowanie częstości dni przymrozkowych występujących wiosną i jesienią w środkowej Europie, mianowicie wzrost

liczby przypadków z zachodu na wschód. Na przeważającym obszarze zaznaczył się w latach 1966–2015 spadek sezonowej liczby dni z przymrozkami. Tylko na trzech stacjach, położonych na wschodzie analizowanego obszaru stwierdzono tendencję wzrostową. W badanym wieloleciu częściej występowały przymrozki wiosenne niż jesienne, jednakże ich frekwencja była znacząco zróżnicowana przestrzennie. W zachodniej części badanego obszaru przeważały przymrozki wiosenne, częstość przymrozków jesiennych zwiększała się w kierunku wschodnim. Silne (T_{min} od $-4,1$ do $-6^{\circ}C$) wiosenne przymrozki występowały przede wszystkim w kwietniu, natomiast w maju były notowane sporadycznie we wschodniej Polsce. Bardzo silne przymrozki ($T_{min} < -6^{\circ}C$) występowały przede wszystkim w północno-wschodniej części analizowanego obszaru oraz na terenach położonych wyżej i były notowane przede wszystkim w kwietniu. Jesienią silne przymrozki pojawiały się głównie w październiku, a we wrześniu zanotowano pojedyncze przypadki w stacjach położonych na wschodzie badanego obszaru. Północno-wschodnie regiony charakteryzowały się również najczęstszym występowaniem bardzo silnych przymrozków.

Przeciętne warunki sprzyjające występowaniu silnych i bardzo silnych przymrozków zarówno wiosną jak i jesienią związane były z podwyższonym ciśnieniem atmosferycznym, na co wskazywały dodatnie anomalie SLP, występujące nad przeważającym obszarem sektora euroatlantyckiego. Szczegółowe analizy pozwoliły wyodrębnić po dwa typy cyrkulacji powodujące występowanie analizowanych przymrozków w obu badanych sezonach. W przypadku wiosny, w typie 1 obserwowano stabilną sytuację baryczną z wyżem nad Wyspami Brytyjskimi, natomiast w typie 2 Europa była pod wpływem dwóch barycznych centrów oddziaływania, pomiędzy którymi notowano duży poziomy gradient ciśnienia, powodujący intensywną adwekcję chłodnych mas powietrza z północnego zachodu. W typie 1 wydzielonym dla przymrozków jesiennych nad wschodnimi regionami badanego obszaru zalegało centrum silnego układu wyżowego, natomiast w typie 2 nad badanym obszarem zaznaczał się wpływ niżu znad Skandynawii oraz nad południowymi regionami wpływ słabego wyżu.

Występowanie silnych i bardzo silnych przymrozków zarówno wiosną jak i jesienią związane było z adwekcją mas powietrza z sektora północnego. Dodatkowo ważnym czynnikiem sprzyjającym wychłodzeniu było niewielkie lub brak zachmurzenie, co jest charakterystyczne dla pogody antycyklonalnej. Potwierdzają to anomalie temperatury powietrza wykreślone w pionowym przekroju przez troposferę. Największe odchylenia od

wartości średnich z wielolecia występowały na najniższych poziomach izobarycznych, gdzie temperatura powietrza nad środkową Europą była niższa nawet o ponad 6°C.

Szlaki przemieszczania się centrów anomalii T850 dla okresów 4-dniowych i dłuższych poprzedzających okresy z silnymi i bardzo silnymi przymrozkami na badanym obszarze potwierdzają adwekcję chłodnych mas powietrza z sektora północnego, głównie ze składową zachodnią. Anomalie te kształtowały się kilka dni (maksymalnie do 10 dni) przed wystąpieniem przymrozków w środkowej Europie.

Podsumowanie

W kontekście współczesnych intensywnych badań nad postępującym globalnym ociepleniem, jednym z istotnych wyników przedstawionego cyklu prac jest udokumentowanie wzrostu maksymalnej dobowej temperatury powietrza latem, który nad przeważającym obszarem środkowej Europy był istotny statystycznie. Najintensywniejsze zmiany odnotowano w południowych regionach badanego obszaru. Podobny kierunek zmian maksymalnej dobowej temperatury powietrza wykazano również zimą, jednak zmiany te były znacznie słabsze niż latem. Zaobserwowane ocieplenie przełożyło się na wzrost częstości fal upałów, nocy gorących, fal ciepła zimą oraz spadku częstości fal mrozów. Największe zmiany w ich występowaniu zanotowano na obszarze największego wzrostu Tmax, a więc w południowych regionach badanego obszaru.

Występowanie fal upałów, nocy gorących, fal mrozów oraz silnych i bardzo silnych przymrozków związane było najczęściej z obecnością układów wysokiego ciśnienia, blokujących cyrkulację strefową. W przypadku wymienionych zjawisk pogodowych średnie pole ciśnienia w czasie ich występowania posiadało cechy wspólne, ale położenie układów antycyklonalnych było różne w zależności od analizowanego zjawiska, odmienne też było ich geograficzne pochodzenie. Z kolei występowanie fal ciepła zimą związane było z obecnością układów niskiego ciśnienia. Zarówno układy wysokiego jak i niskiego ciśnienia były bardziej intensywne w analizowanych dniach niż średnio w rozpatrywanym okresie, na co wskazywał rozkład anomalii ciśnienia na poziomie morza nad badanym obszarem.

Obecność fal upałów, nocy gorących oraz fal ciepła związane było z wyższym zaleganiem powierzchni izobarycznych aniżeli średnio w rozpatrywanym wieloleciu nad przeważającym obszarem kontynentu. Z kolei podczas fal mrozów oraz przymrozków

wskazane poziomy izobaryczne zaległy niżej, względem średnich wartości dla chłodnej pory roku. We wszystkich analizowanych zjawisk pogodowych największe anomalie wysokości geopotencjałów stwierdzono w górnej troposferze, na poziomach 300–250 hPa. Z kolei w przypadku temperatury powietrza największe anomalie notowano na najniższych poziomach izobarycznych, 1000–850 hPa. W pierwszej grupie analizowanych zjawisk (fale upałów, noce gorące oraz fale ciepła) temperatura powietrza była wyższa niż przeciętnie nawet o ponad 7°C, natomiast w drugiej grupie (fale mrozów i przymrozki) niższa nawet o ponad 10°C.

Występowanie analizowanych zjawisk pogodowych w środkowej Europie poprzedzone było występowaniem zaburzeń w górnej troposferze, polegających na kształtowaniu się centrów anomalii wysokości geopotencjałów z kilkudniowym wyprzedzeniem. W zdecydowanej większości przypadków obszarem formowania się centrów anomalii był Ocean Atlantycki. W przypadku fal upałów początki kształtowania się tych centrów notowano z wyprzedzeniem średnio od 5 do 8 dni, a w przypadku nocy gorących od 6 do 9 dni. Z kolei w przypadku fal mrozów czas ten wynosił średnio około 9 dni. Podobne centra anomalii stwierdzono w przypadku temperatury powietrza na poziomie izobarycznym 850 hPa. W przypadku występowania silnych i bardzo silnych przymrozków wspomniane centra kształtowały się z kilkudniowym wyprzedzeniem, a w skrajnych przypadkach nawet z wyprzedzeniem 10 dni.

Zakończenie fal upałów oraz fal mrozów wiązało się ze stopniowym słabnięciem układów barycznych i oddalaniem się ich centrum od badanego obszaru. W przypadku fal upałów centra anomalii przemieszczały się w kierunku południowo-wschodnim lub północno-zachodnim, natomiast w przypadku fal mrozów w kierunku zachodnim.

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

Od 1 czerwca do 31 sierpnia 2019 realizowałem staż naukowy w Research Centre of Human Biometeorology, Deutscher Wetterdienst we Freiburg, pod kierunkiem prof. Andreasa Matzarakisa. W trakcie stażu prowadziłem badania dotyczące ekstremalnych warunków termicznych w środkowej Europie oraz Polsce i brałem czynny udział w spotkaniach naukowych (m. in. wygłosiłem referat na zebraniu ogólnym pracowników Research Centre of Human Biometeorology).

Wymiernym efektem prowadzonej współpracy było przygotowanie dwóch artykułów. Celem pierwszej pracy (Tomczyk i in. 2020a) była charakterystyka warunków biometeorologicznych podczas fal upałów w Polsce w latach 1966–2015. Warunki biometeorologiczne oceniono wykorzystując Physiologically Equivalent Temperature (PET), do obliczenia którego wykorzystano model RayMan. Wykorzystany wskaźnik jest rekomendowany przez Deutscher Wetterdienst. Przeprowadzone badania wykazały coraz częstsze występowanie fal upałów powiązanych ze stresem ciepła na obszarze Polski. Najbardziej uciążliwe warunki biometeorologiczne notowano w zachodnich i południowych regionach kraju, gdzie najczęściej notowano dni z silnym i ekstremalnym stresem ciepła. Z kolei najmniej uciążliwe warunki występowały w strefie wybrzeża. W większości stacji najbardziej uciążliwe warunki, w całym rozpatrywanym wieloleciu, notowano podczas fali upałów z 1994 roku. Zanotowano wówczas znacznie wyższe maksymalne wartości PET aniżeli podczas fali upałów z 2015 roku, ale także liczniej występowały dni z silnym i ekstremalnym stresem ciepła. Warunki biometeorologiczne podczas fal upałów mogą stanowić szczególne zagrożenie dla dzieci oraz osób starszych i chorych. W związku z powyższym należy zalecać dla tych osób ograniczenie przebywania na świeżym powietrzu, w szczególności w godzinach okołopołudniowych, w których wykazano najwyższe wartości PET.

Celem drugiej pracy wykonanej we współpracy z ośrodkiem we Freiburgu (Tomczyk i in. (2020b) – w trakcie recenzji w *Theoretical and Applied Climatology*) było rozpoznanie warunków cyrkulacji powodujących występowanie epizodów chłodu latem w środkowej Europie. Zaobserwowany wzrost T_{max} latem przełożył się na spadek liczby dni chłodnych. Największe zmiany w ich występowaniu zanotowano na obszarze największego wzrostu T_{max} , a więc w południowych regionach badanego obszaru. Najliczniej analizowane dni występowały w pierwszej połowie rozpatrywanego okresu. Występowanie epizodów chłodu latem w środkowej Europie związane było z niższym niż zazwyczaj SLP, a także niższym zaleganiem z300 hPa, co wskazuje na obecność chłodnych mas powietrza. Potwierdzają to również ujemne anomalie T850, których centrum lokowało się częściowo nad obszarem badań. Największe anomalie temperatury powietrza notowano w najniższych warstwach troposfery (poniżej poziomu 850 hPa), gdzie temperatura była niższa nawet o ponad $5,5^{\circ}\text{C}$. Szczegółowa analiza wykazała trzy typy cyrkulacji powodujące adwekcję chłodnych mas powietrza nad obszar badań. W typie 1 i 2 notowano obecność układów niskiego ciśnienia. Nieco inną sytuację baryczną notowano w typie 3, w którym to warunki kształtowane były przez niż znad Islandii,

klin wysokiego ciśnienia oraz zatokę niskiego ciśnienia. W zdecydowanej większości analizowanych stacji najniższą średnią Tmax podczas epizodów chłodu stwierdzono w typy 2.

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

Zdobyte doświadczenie naukowo-badawcze wykorzystuję w pracy dydaktycznej i popularyzatorskiej. Zajęcia dydaktyczne prowadziłem będąc studentem na studiach trzeciego stopnia w latach 2013–2017, a od roku 2017 z racji zatrudnienia na etacie badawczym w ramach grantu SONATINA jestem zwolniony z obowiązku prowadzenia zajęć dydaktycznych.

W trakcie studiów doktoranckich prowadziłem różnorodne zajęcia dla studentów na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych na kierunkach: Geografia spec. hydrologia, meteorologia i klimatologia oraz Zarządzanie Środowiskiem, a także na Wydziale Biologii na kierunku: Ochrona Środowiska oraz w Zamiejscowym Ośrodku Dydaktycznym w Pile (obecnie Nadnotecki Instytut UAM w Pile) na kierunku Gospodarka wodna. Prowadziłem zarówno ćwiczenia jak i laboratoria z przedmiotów: Meteorologia i klimatologia, Klimatologia regionalna, Klimat Polski, Bioklimatologia oraz Zasoby i ochrona atmosfery.

Obecnie, brak zajęć ze studentami rekompensuję działalnością popularyzatorską, na którą składają się głównie zajęcia dla uczniów szkół podstawowych, gimnazjum oraz szkół ponadgimnazjalnych/ponadpodstawowych. Wykłady i warsztaty o zróżnicowanej tematyce (np.: Globalne zmiany klimat, Klimat miasta, Z głową w chmurach, Skąd się bierze woda w chmurach?, Spitsbergen – kraina lodu i niedźwiedzi, Praca meteorologa – warsztaty meteorologiczne, Groźne oblicza natury, Poznajemy ogródek meteorologiczny – o przyrządach i pomiarach meteorologicznych) realizuję zarówno na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM, np. w ramach Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki, Nocy Naukowców oraz Uniwersytetu Dzieci, jak i w szkołach na zaproszenie dyrekcji i nauczycieli. Wielokrotnie organizowałem całonocne bloki zajęć dla uczniów Zespołu Szkolno-Przedszkolnego w Słodkowie i Szkoły Podstawowej w Cisewie na WNGiG. W roku akademickim 2019/2020 zainicjowałem nawiązanie współpracy i podpisanie umowy o objęcie patronatem Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu Zespołu Szkolno-Przedszkolnego w Słodkowie.

Poza działalnością naukową i dydaktyczno-popularyzatorską aktywnie uczestniczę w pracach organizacyjnych Zakładu Meteorologii i Klimatologii oraz Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM. Byłem jednym z głównych inicjatorów organizacji cyklicznej (corocznej) Ogólnopolskiej Konferencji Klimatologicznej „Aktualne problemy badawcze w meteorologii i klimatologii” dedykowanej doktorantom oraz studentom. Od samego początku, tj. od 2015 roku jestem członkiem Komitetu Organizacyjnego tej konferencji, przy czym w II i III edycji byłem jego przewodniczącym. W minionym roku aktywnie uczestniczyłem w organizacji Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej z okazji 50-lecia Zakładu Klimatologii pt.: „Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania”. Od wielu lat angażuję się w organizację Poznańskiego Festiwalu Nauki i Sztuki oraz Nocy Naukowców na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM. W roku akademickim 2019/2020 jestem odpowiedzialny za przygotowanie i nadzorowanie planu zajęć na kierunku Geografia (studia licencjackie, niestacjonarne) oraz Geografia spec. hydrologia, meteorologia i klimatologia (studia magisterskie, niestacjonarne). Ponadto jestem opiekunem trzech roczników studentów na kierunku Geografia tj. Geografia specjalność hydrologia, meteorologia i klimatologia (studia stacjonarne, III rok studiów licencjackich), Geografia (studia niestacjonarne, I rok studiów licencjackich) oraz Geografia specjalność hydrologia, meteorologia i klimatologia (studia niestacjonarne, II rok studiów magisterskich).

W 2019 roku zostałem nagrodzony przez Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu zespołową nagrodą III stopnia za działalność organizacyjną.

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

Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

Po ukończeniu I Liceum Ogólnokształcącym im. Tadeusza Kościuszki w Turku edukację kontynuowałem na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Pierwsze doświadczenia naukowo-badawcze zdobywałem w ramach działalności Studenckiego Koła Naukowego Geografów im. profesora Stanisława Pawłowskiego, którego byłem wiceprezesem przez dwie kadencje. Pierwsze badania naukowe prowadziłem w ramach Sekcji Meteorologii, a ich efektem był współautorski rozdział w monografii o warunkach termiczno-wilgotnościowych w Międzyzdrojach (Majkowska i in. 2013). Ważnym etapem w mojej pracy naukowo-badawczej było

przygotowanie pracy magisterskiej pt.: *Synoptyczne uwarunkowania występowania pokrywy śnieżnej w wybranych regionach Europy*, pod kierunkiem prof. dr hab. Ewy Bednorz.

Podstawą nadania stopnia naukowego doktora była praca doktorska pt.: *Występowanie fal upałów w Europie oraz ich cyrkulacyjne i synoptyczne uwarunkowania*, przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab. Ewy Bednorz i dra Marka Półrolniczaka. Pracę stanowił zbiór monotematycznych artykułów (Tomczyk 2016c, 2017, Tomczyk i Bednorz 2016, Tomczyk i in. 2017ab), opublikowanych w latach 2016–2017 w czasopismach znajdujących się na liście JCR. Obroniona rozprawa na wniosek recenzentów prof. Joanny Wibig i dr hab. Katarzyny Piotrowicz została wyróżniona przez Radę Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM. Powyższe badania były realizowane w ramach grantu PRELUDIUM (UMO-2014/15/N/ST10/00717), finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie w latach 2015–2018.

Jednym z najważniejszych wyników rozprawy doktorskiej było udokumentowanie istotnego wzrostu dobowej maksymalnej temperatury powietrza w sezonie letnim w większości regionów Europy, który przełożył się na wzrost częstości występowania dni upalnych i fal upałów. Najintensywniejsze tempo zmian zaobserwowano od początku XXI wieku, kiedy to wartości maksymalnej temperatury w sezonie letnim z reguły zdecydowanie przekraczały wartości średnie z badanego wielolecia. Występowanie fal upałów związane było najczęściej z obecnością układów wysokiego ciśnienia, blokujących cyrkulację strefową. W każdym analizowanym regionie Europy średnie pole ciśnienia w czasie występowania fal upałów było podobne, ale położenie układów antycyklonalnych było różne w zależności od analizowanego obszaru badań. Na usytuowanie i intensywność wyżów wskazywały dodatnie anomalie ciśnienia na poziomie morza i wysokości izobarycznej 500 hPa. Podwyższenie poziomu 500 hPa i dodatnie anomalie temperatury powietrza na wysokości 850 hPa, wskazują na zaleganie ciepłych mas powietrza nad obszarem badań. Poza analizą zgeneralizowanych warunków barycznych towarzyszących występowaniu fal upałów w poszczególnych regionach, wyodrębniono typy cyrkulacji, które mogą powodować ekstremalne wartości temperatury powietrza. W środkowej Europie wyznaczono trzy typy cyrkulacji, natomiast w pozostałych regionach Europy wyznaczono po dwa typy cyrkulacji.

Uzyskane wyniki badań pokazały, że występowanie fal upałów wiązało się z trwałymi układami barycznymi na różnych poziomach w troposferze. To z kolei skłoniło mnie do poszukiwania predyktorów występowania tych zdarzeń poprzez analizę anomalii pola ciśnienia poprzedzających ich występowanie. Realizacja tych złożeń jest możliwa dzięki uzyskaniu

grantu SONATINA, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie w latach 2017–2020.

Obecnie moje badania naukowe można podzielić na kilka grup tematycznych, takie jak: ekstrema termiczne, biometeorologia, agroklimatologia, klimatologia polarna, klimat miasta oraz wpływ warunków klimatycznych na upwelling, warunki termiczne i lodowe jezior oraz rzek, a także wezbrania.

W pierwszej grupie badań skupiam się na analizie cyrkulacyjnych uwarunkowań występowania ekstremalnych wartości temperatury powietrza, w tym fal upałów (Tomczyk 2014a, Tomczyk i Bednorz 2014a, Tomczyk 2015c, Tomczyk 2018a, Tomczyk 2019, Tomczyk i Sulikowska 2018, Tomczyk i in. 2019a) oraz fal mrozów (Tomczyk i Bednorz 2014a, Tomczyk 2016b, Tomczyk i in. 2019a). W tych badaniach warunki synoptyczne występowania fal upałów lub mrozów analizowano na podstawie ciśnienia na poziomie morza, wysokości powierzchni izobarycznej 500 hPa oraz temperatury powietrza na powierzchni izobarycznej 850 hPa, a także na podstawie anomalii powyższych parametrów. Występowanie zarówno fal upałów jak i fal mrozów związane było głównie z sytuacjami antycyklonalnymi. Podczas analizowanych ciepłych epizodów pogodowych obszar badań pozostawał w zasięgu dodatnich anomalii SLP oraz dodatnich anomalii z500 hPa i T850 w przypadku fal upałów oraz ujemnych anomalii z500 hPa i T850 w przypadku fal mrozów. Występowanie fal upałów związane było głównie z adwekcją ciepłych mas powietrza z południowego wschodu lub południowego zachodu. Opisane warunki baryczne oprócz adwekcji ciepłych mas powietrza, powodowały silny dopływ promieniowania słonecznego do podłoża przy małym zachmurzeniu bądź przy jego braku, co jest charakterystyczne dla pogody antycyklonalnej. Występowanie fal mrozów związane było przede wszystkim z adwekcją chłodnych mas powietrza ze wschodu i północnego wschodu. Z kolei w tym przypadku, brak lub niewielkie zachmurzenie sprzyjało silnemu wypromieniowaniu ciepła z podłoża. Do analizy cyrkulacyjnych uwarunkowań różnych zjawisk meteorologicznych wykorzystywałem również makroskalowe typy cyrkulacji. Przykładem takich badań mogą być prace dotyczące wpływu wybranych typów cyrkulacji na występowanie pokryw śnieżnej w różnych regionach Europy (Tomczyk i Bednorz 2014b) oraz dni mroźnych w Polsce (Tomczyk 2015a). Powyższe badania wykazały, że w okresie zimy najsilniejszy wpływ na warunki pogodowe w analizowanych obszarach wywierała Oscylacja Północnoatlantycka (NAO) oraz typ Skandynawski (SCAND). Z kolei bez znaczenia pozostawał typ Wschodnioeuropejski.

Warunki baryczne, zbliżone do warunków notowanych w trakcie fal upałów, sprzyjały występowaniu silnego i bardzo silnego stresu ciepła w Polsce (Tomczyk i Owczarek 2020). Przeprowadzone badania wykazały wzrost częstości silnego i bardzo silnego stresu ciepła, wyznaczonego na podstawie Universal Thermal Climate Index (UTCI), a odnotowane zmiany na znacznym obszarze kraju były istotne statystycznie. Ponadto w swoich badaniach analizie poddałem cyrkulacyjne uwarunkowania występowania nocy gorących (Tomczyk 2015b) oraz nocy mroźnych (Tomczyk 2018b) w wybranych regionach Polski. Temperatura powietrza w nocy ma szczególne znaczenie głównie w okresie lata. Utrzymywanie się jej wysokich wartości w nocy po upalnym dniu stanowi silne obciążenie termiczne dla organizmu, co może stanowić zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia człowieka.

Znaczną część mojego dorobku naukowego stanowią prace z zakresu agroklimatologii. Wraz ze Współautorką w licznych pracach analizowałem zmiany terminów rozpoczęcia i zakończenia okresu wegetacyjnego oraz zmiany jego długości w ostatnich dziesięcioleciach w Polsce (Tomczyk i Szyga-Pluta 2016, 2019, Szyga-Pluta i Tomczyk 2019). 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). Ponadto analizie poddano wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na termin rozpoczęcia i zakończenia okresu wegetacyjnego w Polsce (Tomczyk i in. 2019c). Czas i zasięg zmian parametrów okresu wegetacyjnego były istotnie uzależnione od zmienności makroskalowych typów cyrkulacji wpływających na cyrkulację atmosfery nad Polską. Największy wpływ na termin rozpoczęcia okresu wegetacyjnego miała Oscylacja Arktyczna (AO). Z kolei zakończenie okresu wegetacyjnego najsilniej regulowała Oscylacja Wschodnioatlantycka.

Ważnym aspektem mojej działalności naukowo-badawczej są badania polarne. W ostatnich dekadach klimatologia polarna zyskuje na znaczeniu, ponieważ obszary polarne, doświadczające najszybszego tempa ocieplenia, uważane są za bardzo ważny wskaźnik zmian klimatu globalnego (Przybylak i Wyszyński 2009). Moje dotychczasowe badania dotyczyły

występowania fal ciepła (Tomczyk i Bednorz 2014c) i fal mrozów (Tomczyk 2014b) na Spitsbergenie oraz ich cyrkulacyjnych uwarunkowań. Wykazałem wzrost temperatury powietrza na Spitsbergenie, który intensywniej przebiegał w sezonie zimowym. Ocieplenie przełożyło się na wzrost liczby dni ciepłych i fal ciepła w sezonie letnim oraz spadek liczby dni mroźnych i fal mrozów w sezonie zimowym. Adwekcja mas powietrza z sektora południowego sprzyjała występowaniu fal ciepła, a z sektora północnego fal mrozów. Napływ mas powietrza z południa sprzyjał wzrostowi średniej temperatury powietrza z dnia na dzień o $\geq 6^{\circ}\text{C}$, natomiast z północy spadkowi o $\geq 6^{\circ}\text{C}$ (Tomczyk 2016a). W latach 1981–2010 stwierdzono zmniejszanie międzydobowej dynamiki temperatury, wyrażające się m.in. malejącą liczbą dni, zarówno ze wzrostem, jak i spadkiem temperatury powietrza o $\geq 6^{\circ}\text{C}$. Dni tej kategorii występowały głównie zimą, natomiast nie były notowane latem. Wypracowaną metodykę przyjęto również w ostatnich badaniach dotyczących występowania fal chłodu latem i fal ciepła zimą oraz ich cyrkulacyjnych uwarunkowań (Tomczyk i in. 2019b). Obserwowane ocieplenie przełożyło się na spadek liczby dni chłodnych latem i wzrost liczby dni ciepłych zimą oraz powiązanych z częstością tych dni, fal ciepła i chłodu. Tempo tych zmian było większe w Svalbard Lufthavn niż w Ny-Alesund. Występowanie dni chłodnych jak i fal chłodu związane było przede wszystkim z adwekcją mas powietrza z sektora północno-zachodniego. Z kolei występowanie dni ciepłych i fal ciepła, związane było przede wszystkim z adwekcją mas powietrza z południowego zachodu. Prowadzone dotychczas badania zachęciły mnie do udziału w XXIII Wyprawie Polarnej UAM w 2018 roku, podczas której współprowadziłem badania terenowe.

W skład mojego dorobku naukowego wchodzi również prace z zakresu klimatu miasta. Wraz ze współautorami przeanalizowałem warunki termiczne na obszarze miasta w trakcie fal upałów (Półrolniczak i in. 2018) oraz fal mrozów (Tomczyk i in. 2018). Badania przeprowadzono zarówno na podstawie danych pomiarowych jak i zobrażeń satelitarnych. Przeprowadzone analizy wykazały wzrost temperatury powietrza w sezonie letnim oraz zimowym, a także wzrost częstości fal upałów oraz spadek częstości fal mrozów w Poznaniu. Zarówno podczas fal upałów jak i fal mrozów stwierdzono duże zróżnicowanie warunków termicznych na obszarze miasta, a największe różnice temperatury powietrza wynosiły około 5°C . W obu analizowanych przypadkach najwyższą temperaturę powietrza notowano na obszarach silnie przekształconych, a więc w zabudowanym centrum miasta, obszarach przemysłowych oraz handlowych, natomiast obszary naturalne takie jak lasy i obszary nad zbiornikami wodnymi cechowały się najniższą temperaturą powietrza. Badania wykazały wpływ zagospodarowania miasta na warunki termiczne podczas analizowanych zjawisk

pogodowych. Uzyskane wyniki podkreśliły znaczącą rolę cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu warunków pogodowych, które mogą być modyfikowane przez czynniki lokalne. Dłuższe utrzymywanie się stabilnych układów barycznych prowadzi do intensyfikacji warunków termicznych na terenach zurbanizowanych, co skutkuje pogorszeniem warunków biometeorologicznych i stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka.

Kolejnym obszarem mojej działalności naukowo-badawczej są badania z pogranicza klimatologii i hydrologii. Pierwszą grupę prac w tym obszarze stanowią prace dotyczące cyrkulacyjnych uwarunkowań upwellingu na Morzu Bałtyckim (Bednorz i in. 2018, 2019ab). Celem badań było określenie sytuacji cyrkulacyjnych mogących wzbudzać upwelling wzdłuż wybrzeży Morza Bałtyckiego. Charakterystykę powyższych warunków przeprowadzono w oparciu o makroskalowe typy cyrkulacji oraz poprzez wyznaczenie lokalnych układów barycznych. Badania wykazały, że spośród makroskalowych typów cyrkulacji w sektorze Euroatlantyckim typ SCAND ma największy wpływ na lokalne warunki anemologiczne i tym samym na występowania upwellingu. Zarówno faza jak i intensywność typu SCAND wpływa na częstość upwellingu u południowo-wschodnich wybrzeży Morza Bałtyckiego. Szczegółowe badania wykazały, że występowanie upwellingu związane było z dwoma różniącymi się od siebie lokalnymi typami cyrkulacji, związanymi z obecnością układów wysokiego ciśnienia. Opisane warunki baryczne generowały wiatr z południowego wschodu oraz południa, co sprzyjało odpychaniu ciepłych wód powierzchniowych i wypływowi zimnych wód głębszych u południowo-wschodnich wybrzeży Bałtyku.

Kolejną grupę stanowią prace dotyczące wpływu warunków klimatycznych na warunki termiczne jezior (Ptak i in. 2018) i formowanie się pokrywy lodowej na jeziorach w północnej Polsce (Ptak i in. 2019). W pierwszej z prac przeanalizowano wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na temperaturę powietrza oraz temperaturę wód powierzchniowych jezior w północnej Polsce. Badania wykazały, że wpływ ten jest zróżnicowany. Największe oddziaływanie na temperaturę wody zaobserwowano zimą, a najsilniejszy wpływ wywierała Oscylacja Arktyczna oraz Oscylacja Północnoatlantycka. Przedstawione badania wskazują na złożoność procesów decydujących o zmianach temperatury wód jezior, na przebieg których wpływa wiele czynników; zarówno o zasięgu regionalnym, jak i lokalnym. W drugim artykule przeanalizowano wpływ makroskalowych typów cyrkulacji atmosfery na warunki lodowe jezior w północnej Polsce tj. na zmiany dat początku i końca oraz długości zalegania pokrywy lodowej, a także na zmiany jej maksymalnej grubości. Ustalono, że istotne związki z powyższymi cechami reżimu lodowego wykazały głównie dwa typy cyrkulacji tj. NAO

(początek i koniec pokrywy lodowej, czas jej trwania, maksymalna grubość lodu) oraz SCAND (koniec pokrywy lodowej, czas jej trwania, maksymalna grubość lodu). Ponadto w przypadku typu Wschodnioeuropejskiego ustalono, że jego oddziaływanie istotnie wpływało jedynie na termin zakończenia pokrywy lodowej.

Kolejną grupę stanowią prace dotyczące wpływu warunków klimatycznych na formowanie się stałej pokrywy lodowej na rzece (Graf i Tomczyk 2018) oraz na wezbrania w południowo-zachodniej Polsce (Bednorz i in. 2019c). W pierwszej z prac wykazano wpływ kumulowanych ciągów ujemnych temperatur powietrza (tzw. stopniodni KSD) na powstawanie i utrzymywanie się stałej pokrywy lodowej na Noteci. Dowiedziono, że stała pokrywa lodowa na rzece tworzyła się przy wyznaczonych wartościach progowych KSD, zróżnicowanych dla poszczególnych posterunków pomiarowych, co świadczy o różnicach w cechach reżimu termiczno-lodowego rzeki na poszczególnych odcinkach jej biegu. Przyrostom ujemnych temperatur powietrza sprzyjało zaleganie nad środkową i wschodnią Europą układów wysokiego ciśnienia, zapewniających adwekcję chłonných mas powietrza ze wschodu lub północnego wschodu. Z kolei w drugiej pracy przeanalizowano warunki cyrkulacyjne prowadzące do ekstremalnych wezbrań na rzekach w Sudetach. Badania wykazały 17 przypadków takich wezbrań, dla których przeprowadzono szczegółowe analizy i wykazano 5 typów cyrkulacji. Centra ujemnych anomalii ciśnienia na poziomie morza w dniach poprzedzających występowania ekstremalnych wezbrań tworzyły się nad Morzem Śródziemnym lub Oceanem Atlantyckim, które w kolejnych dniach przemieszczały się w kierunku badanego obszaru. Wyznaczone warunki powodowały adwekcję chłodnych mas powietrza ze wschodu i północnego wschodu w dolnej troposferze oraz ciepłych i wilgotnych mas powietrza znad Morza Śródziemnego w środkowej troposferze, co jest typową strukturą frontu ciepłego.

Podsumowanie dorobku naukowego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje 60 recenzowanych prac tj. 50 artykułów naukowych (w tym 5 artykułów tworzących osiągnięcie habilitacyjne) i 10 rozdziałów w monografiach. Badania prowadziłem zarówno indywidualnie jak w zespołach badawczych z pracownikami macierzystego Uniwersytetu oraz Uniwersytetu Gdańskiego (dr M. Owczarek), Uniwersytetu Jagiellońskiego (mgr A. Sulikowska), Uniwersytetu Łódzkiego (dr P. Piotrowski), Uniwersytetu Śląskiego (prof. E. Łupikasza),

Uniwersytetu Wrocławskiego (mgr N. Pilgaj), a także Deutsche Wetterdienst (prof. A. Matzarakis).

Wyniki badań naukowych prezentowałem na 25 konferencjach, podczas których przedstawiłem 24 referaty i 15 posterów. Realizacja powyższych badań była możliwa dzięki 2 grantom finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie (PRELUDIUM, SONATINA).

W 2019 roku za działalność naukową uzyskałem stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców.

Pozostałe dane bibliometryczne (17.02.2020 r.):

Liczba publikacji	ogółem	60
	czasopisma z Impact Factor	35 (w tym 5 tworzących osiągnięcie habilitacyjne)
	pozostałe czasopisma	15
	rozdziały w monografiach	10
Indeks Hirscha wg Web of Science		8
Indeks Hirscha wg SCOPUS		8
Indeks Hirscha wg Google Scholar		9
Liczba cytowań wg Web of Science		155 (bez autocytowań 81)
Liczba cytowań wg SCOPUS		197 (bez autocytowań 103)
Liczba cytowań wg Google Scholar		295
Sumaryczny Impact Factor		69,4
Suma punktów wg punktacji MNiSW zgodnie z roku publikacji		1964

Moje dotychczasowe badania znalazły uznanie redaktorów czasopism międzynarodowych jak i krajowych, którzy wielokrotnie powoływali mnie na recenzenta publikacji z zakresu klimatologii. W ostatnim czasie wykonałem recenzje artykułów dla następujących czasopism: *Geophysical Research Letters*, *Atmospheric Research*, *International Journal of Climatology*, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *Water*, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *International Journal of Biometeorology*, *Atmosphere*, *Climate Research*, *Meteorological Applications*, *Időjárás*,

a także *Miscellanea Geographica, Polish Journal of Agronomy, Przegląd Geofizyczny i Badania Fizjograficzne, Seria A – Geografia Fizyczna*. Ponadto zostałem powołany przez Czech Science Foundation na recenzenta grantu, a przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej do zespołu ekspertów. Od roku 2018 jestem również członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma *Badania Fizjograficzne, Seria A – Geografia Fizyczna*. Obecnie jestem współredaktorem dwóch numerów specjalnych w czasopiśmie *Atmosphere*, wydawanym przez MDPI: *Temperature Extremes – Atmospheric Circulation* (red. Arkadiusz M. Tomczyk, Ewa Bednorz) oraz *The Impact Climate on Water Environmental* (red. Arkadiusz M. Tomczyk, Mariusz Ptak).

Literatura

- Avotniece Z., Kļaviņš M., Rodinovs V., 2012. Changes of extreme climate events in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, doi: 10.2478/v10145-012-0010-1
- Bednorz E., Czernecki B., Półrolniczak M., Tomczyk A.M., 2018. Atmospheric forcing of upwelling along the south-eastern Baltic coast. *Baltica* 31 (1), 73-85
- Bednorz E., Półrolniczak M., Czernecki B., Hanna Forycka-Ławniczak, Tomczyk A.M., 2019a. Synoptyczne uwarunkowania występowania upwellingu przybrzeżnego w południowo-wschodniej części Morza Bałtyckiego [w:] Kolednowicz L., Bednorz E. Tomczyk A.M. (red.) *Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 15-30
- Bednorz E., Półrolniczak M., Czernecki B., Tomczyk A.M., 2019b. Atmospheric Forcing of Coastal Upwelling in the Southern Baltic Sea Basin. *Atmosphere* 10, 327
- Bednorz E., Wrzeński D., Tomczyk A.M., Jasik D., 2019c. Classification of Synoptic Conditions of Summer Floods in Polish Sudeten Mountains. *Water* 11, 1450
- Bielec-Bąkowska Z., 2014. *Silne wyże na Europą (1951–2010)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, 219
- Bielec-Bąkowska Z., Łupikasz E., 2009. Frosty, freezing and severe freezing days and their synoptic implications in Małopolska, Southern Poland, 1951–2000. *Bulletin of Geography–Physical Geography* 1/2009, 35-56
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K., 2013. *Temperatury ekstremalne w Polsce w latach 1951–2006*. *Prace Geograficzne* 132, 59-98
- Bielec-Bąkowska Z., Piotrowicz K., Krępa-Adolf E., 2018. Trends in the frost-free season with parallel circulation and air mass statistics in Poland. *Időjárás* 122 (4), 375-392
- Burroughs W.J., 2002. Gardening and climate change. *Weather* 5 (27), 151-157
- Chen Y., Hu Q., Yang Y., Qian W., 2017. Anomaly based analysis of extreme heat waves in Eastern China during 1981–2013. *International Journal of Climatology* 37 (1), 509-523
- Chmielewski F.M., Götz K.P., 2017. Identification and timing of dormant and ontogenetic phase for sweet cherries in Northeast Germany for modelling purposes. *Journal of Horticulture* 4, 205

- Chmielewski F.M., Götz K.P., Weber K.C., Moryson S., 2018. Climate change and spring frost damages for sweet cherries in Germany. *International Journal of Biometeorology* 62, 217-228
- Chmielewski F.M., Muller A., Bruns E., 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural Forest Meteorology* 121 (1-2), 69-78
- Dennis F.G., Howell G.S., 1974. Cold hardiness of tart cherry bark and flower buds. Michigan State University farm scientists research report no. 220 of MSU
- Dizerens C., Lenggenhager S., Schwander M., Buck A., Foffa S., 2017. The 1956 Cold Wave in Western Europe. [w:] Brönnimann S. (red.) *Historical Weather Extremes in Reanalyses*. *Geographica Bernensia* G92, 101-111
- Doroszewski A., Wróblewska E., Józwicki T., Mizak K., 2013. Evaluation of damage to fruit and horticultural plants caused by frosts in May 2011. *Acta Agrophysica* 20 (2), 269-281
- Dudek S., Żarski J., Kuśmierk-Tomaszewska R., 2012. Tendencje zmian występowania przymrozków przygruntowych w rejonie Bydgoszczy. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie* 12 (2), 93-106
- Esteban P., Jones P. D., Martin-Vide J., Mases M., 2005. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees. *International Journal of Climatology* 25, 319-329
- Graczyk D., Kundzewicz Z.W., Choryński A., FørlandIwona E.J., Pińskwar I., Szwed M., 2019. Heat related mortality during hot summers in Polish cities. *Theoretical and Applied Climatology* 136 (3-4), 1259-1273
- Graf R., Tomczyk A.M., 2018. The Impact of Cumulative Negative Air Temperature Degree-Days on the Appearance of Ice Cover on a River in Relation to Atmospheric Circulation. *Atmosphere* 9 (6), 204
- Hoy A., Hänsel S., Skalak P., Ustrnul Z., Bochniček O., 2017. The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective. *International Journal of Climatology* 37 (2), 943-962
- IPCC 2001. Climate change. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel in Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC 2007. Climate change. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel in Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge
- IPCC.2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA
- Kalnay E., Kanamistu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D., 1996. The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437-471
- Kossowska-Cezak U., 2014. Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951–2010). *Prace Geograficzne* 136, 9-30
- Koźmiński Cz., Trzeciak S., 1971. Przestrzenny i czasowy rozkład przymrozków wiosenno-jesiennych na obszarze Polski. *Przegląd Geograficzny* 43 (4), 523-549
- Kreyling J., Thiel D., Simmnacher K., Willner E., Jentsch A., Beierkuhnlein C., 2012. Geographic origin and past climatic experience influence the response to late spring frost in four common grass species in central Europe. *Ecography* 35, 268-275
- Krzyżewska A., Dyer J., 2018. The August 2015 mega-heatwave in Poland in the context of past events. *Weather* 73 (7), 207-214

- Kuchcik M., 2001. Mortality in Warsaw: is there any connection with weather and air pollution? *Geographia Polonica* 74 (1), 29-45
- Kuchcik M., 2017. Warunki termiczne w Polsce na przełomie XX i XXI wieku i ich wpływ na umieralność. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 263, 1-279.
- Kundzewicz Z.W., Huang S., 2010. Seasonal temperature extremes in Potsdam. *Acta Geophysica* 58 (6), 1115-1133
- Kundzewicz Z.W., Józefczyk D., 2008. Temperature-related climate extremes in the Potsdam observation record. *Geografie* 113 (4), 372-382
- Kysely J., Huth R., 2004. Heat – related mortality in the Czech Republic examined through synoptic and “traditional” approaches. *Climate Research* 25 (3), 265-274
- Leckebusch G.C., Ulbrich U., 2004. On the relationship between cyclones and extreme windstorms over Europe under climate change. *Global and Planetary Change* 44, 181-193
- Leckebusch G.C., Weimer A., Pinto J.G., Reyers M., Speth P., 2008. Extreme wind storms over Europe in present and future climate: a cluster analysis approach. *Meteorologische Zeitschrift* 17, 67-82
- Lhotka O., Kysely J., 2015. Characterizing joint effects of spatial extent, temperature magnitude and duration of heat waves and cold spells over Central Europe. *International Journal of Climatology* 35 (7), 1232-1244
- Majkowska A., Taszarek M., Kolendowicz J., Tomczyk A., Wąż K., Waszczak K., Brodowski P., Nowak K., Pietrewicz K., Wołejko D., Gawron A., Kotecki P., Langner M., Rogowska A., Kendzierski S., 2013. Rozkład przestrzenny temperatury, wilgotności względnej oraz wielkości ochładzającej powietrza w Międzyzdrojach w dniach 26–28 czerwca 2012 roku. [w:] A. Kostrzewski (red.), *Geoforum* 1, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 67-87
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2012. Ekstremalne zdarzenia pogodowe w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne. [w:] Z. Bielec-Bakowska, E. Łupikasza, A. Widawski (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu, Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski*, 211-218
- Matzneller P., Götz K.P., Chmielewski F.M., 2016. Spring frost vulnerability of sweet cherries under controlled conditions. *International Journal of Biometeorology* 60 (1), 123-130
- Michelozzi P., de Donato F., Accetta G., Forastiere F., D’Ovidio M., Perucci C., Kalkstein L.S., 2004. Impact of heat waves on mortality – Rome, Italy June-August 2003. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 53 (17), 369-371
- Miranda C., Santesteban L.G., Royo B., 2005. Variability in the relationship between frost temperature and injury level for some cultivated *Prunus* species. *Hortscience* 40 (2), 357-361
- Muthers S., Laschewski L., Matzarakis A., 2017. The Summers 2003 and 2015 in South-West Germany: Heat Waves and Heat-Related Mortality in the Context of Climate Change. *Atmosphere* 8, 224
- Mužíková B., Vlček V., Střed T., 2011. Tendencies of climatic extremes occurrence in different Moravian regions and landscape types. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 5, 169-178
- 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
- NOAA. 2018. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>
- Pórolniczak M., Tomczyk A.M., Kolendowicz L., 2018. Thermal Conditions in the City of Poznań (Poland) during Selected Heat Waves. *Atmosphere* 9, 11

Porębska M., Zdunek M., 2013. Analysis of extreme temperature events in Central Europe related to high pressure blocking situations in 2001–2011. *Meteorologische Zeitschrift* 22 (5), 533-540

Poumadere M., Mays C., Le Mer S., Blong R., 2005. The 2003 heat wave in France: dangerous climate change here and now. *Risk Analysis* 25 (6), 1483-1494

Proebsting E.L., 1982. Cold resistance of stone fruit flower buds. Cooperative Extension of Washington State University, Washington

Proebsting E.L., Mills H.H., 1978. Low temperature resistance of developing flower buds of six deciduous fruit species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103, 192-198

Przybylak R., Wyszynski P., 2009. Ciśnienie atmosferyczne w Arktyce w okresie Pierwszego Międzynarodowego Roku Polarnego 1882/83. *Problemy Klimatologii Polarnej* 19, 81-98

Ptak M., Tomczyk A.M., Wrzesiński D., 2018. Effect of Teleconnection Patterns on Changes in Water Temperature in Polish Lakes. *Atmosphere* 9, 66

Ptak M., Tomczyk A.M., Wrzesiński D., Bednorz E., 2019. Effect of teleconnection patterns on ice conditions in lakes in lowland Poland. *Theoretical and Applied Climatology* 138 (3-4), 961-969

Qian W., Jiang M., 2014. Early signals of synoptic-scale atmospheric anomalies associated with the summer low temperature events in northeast China. *Meteorology and Atmospheric Physics* 124 (1), 33-46

Qian W.H., Li J., Shan X.L., 2013. Application of synoptic-scale anomalous winds predicted by medium-range weather forecast models on the regional heavy rainfall in China in 2010. *Science China Earth Sciences* 56 (6), 1059-1070

Qian W.H., Yu T., Du J., 2016. A unified approach to trace surface heat and cold events by using height anomaly. *Climate Dynamics* 46, 1647-1664

Rahmstorf S., Foster G., Cahill N., 2017. Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls. *Environmental Research Letters* 12, 054001

Rigby J.R., Porporato A., 2008. Spring frost risk in a changing climate. *Geophysical Research Letters* 35, L12703

Robine J.M., Cheung S.L., Le Roy S., Van Oyen H., Herrmann F.R., 2007. Report on Excess Mortality in Europe During Summer 2003. EU Community Action Programme for Public Health. European Commission: Brussels, Belgium

Russo S., Sillmann J., Fischer E.M., 2015. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters* 10 (12), 124003

Shevchenko O, Lee H, Snizhko S, Mayer H., 2014. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology* 34, 1642-1650

Sobik B., 2018. Analiza przyczyn wystąpienia zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w sierpniu 2015 roku w Polsce oraz sposoby zapobiegania takim zdarzeniom. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* 103, 193-208

Spinoni J., Lakatos M., Szentimrey T., Bihari Z., Szalai S., Vogt J., Antofie T., 2015. Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. *International Journal of Climatology* 35 (14), 4197-4209

Stěpánek P., Skalák P., Farda A., Zahradníček P., 2011. Climate change in the area of the Czech Republic according to ALADIN-Climate/CZ simulations. [w:] Šiška B. Hauptvogel M. Eliašová M. (red.). *Bioclimate: Source and Limit of Social Development*, International Scientific Conference, 6th–9th September 2011, Topoľčianky, Slovakia

- 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
- Tomczyk A.M., 2014a. Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania fal upałów w Poznaniu. *Przegląd Geograficzny* 86 (1), 41-52
- Tomczyk A.M., 2014b. Frost waves in north-western Spitsbergen. [w:] Migała K., Owczarek P., Kasprzak M., Strzelecki M.C. (red.) *New perspectives in polar research*, Wrocław, 247-256
- Tomczyk A.M., 2015a. Impact of macro-scale circulation types on the occurrence of frosty days in Poland. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* 9, 55-65
- Tomczyk A.M., 2015b. Very warm nights in Polish coastal area of the Baltic Sea. *Geographia Polonica* 88 (3), 493-502
- Tomczyk A.M., 2015c. Najdłuższa fala upałów oraz fala mrozów w Poznaniu na tle cyrkulacji atmosferycznej. *Acta Geographica Silesiana* 19, 67-71
- Tomczyk A.M., 2016a. Duże zmiany temperatury powietrza z dnia na dzień w Ny-Ålesund i ich związek z cyrkulacją atmosferyczną. [w:] Franczak P., Listwan-Franczak K., Liro J., Liro M., Krąż P. (red.) *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii*, IGiGP UJ, Kraków, 293-308
- Tomczyk A.M., 2016b. Fale mrozów w Poznaniu i ich cyrkulacyjne uwarunkowania. *Badania Fizjograficzne, Seria A. Geografia Fizyczna* 67, 255-268
- Tomczyk A.M., 2016c. Impact of atmospheric circulation on the occurrence of heat waves in southeastern Europe. *Időjárás* 120 (4), 395-414
- Tomczyk A.M., 2017. Atmospheric circulation during heat waves in Eastern Europe. *Geografie* 122 (2), 121-146
- Tomczyk A.M., 2018a. Hot weather in Potsdam in the years 1896–2015. *Meteorology and Atmospheric Physics* 130 (1), 1-10
- Tomczyk A.M., 2018b. Noce mroźne w Poznaniu i ich cyrkulacyjne uwarunkowania. *Badania Fizjograficzne, Seria A. Geografia Fizyczna* 69, 221-232
- Tomczyk A.M., 2019. Fale upałów w Polsce latem 2018 roku. [w:] Kolendowicz L., Bednorz E. Tomczyk A.M. (red.) *Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 223-232
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2014a. Heat and cold waves on the southern coast of the Baltic Sea. *Baltica* 27 (1), 44-53
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2014b. Synoptyczne uwarunkowania intensywnych opadów śniegu w wybranych regionach Europy. *Przegląd Geograficzny* 86 (3), 295-310
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2014c. Warm waves in north-western Spitsbergen. *Polish Polar Research* 35 (3), 497-511
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2016. Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. *International Journal of Climatology* 36 (2), 770-782
- Tomczyk A.M., Bednorz E., Matzarakis A., 2020a. Human-biometeorological conditions during heat waves in Poland. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.6503
- Tomczyk A.M., Bednorz E., Półrolniczak M., Kolendowicz L., 2019a. Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology* 137 (3-4), 1909-1923

- Tomczyk A.M., Łupikasza E., Kendzierski S., 2019b. Warm winter and cold summer spells in Spitsbergen and their circulation conditions. *Polish Polar Research* 40 (4), 311-338
- Tomczyk A.M., Owczarek M., 2020. Occurrence of strong and very strong heat stress in Poland and its circulation conditions. *Theoretical and Applied Climatology* 139 (3), 893-905
- Tomczyk A.M., Piotrowski P., Bednorz E., 2017a. Warm spells in Northern Europe in relation to atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology* 128 (3-4), 623-634
- Tomczyk A.M., Pórolniczak M., Bednorz E., 2017b. Circulation Conditions' Effect on the Occurrence of Heat Waves in Western and Southwestern Europe. *Atmosphere* 8, 31
- Tomczyk A.M., Pórolniczak M., Kolendowicz L., 2018. Cold Waves in Poznań (Poland) and Thermal Conditions in the City during Selected Cold Waves. *Atmosphere* 9 (6), 208
- Tomczyk A.M., Sulikowska A., 2018. Heat waves in lowland Germany and their circulation-related conditions. *Meteorology and Atmospheric Physics* 130 (5), 499-515
- Tomczyk A.M., Sulikowska A., Bednorz E., Matzarakis A., 2020b. Cold episodes in summer in Central Europe and their circulation conditions. *Theoretical and Applied Climatology* (w recenzji).
- 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 and maturing of plants in north-western Poland. *Badania Fizjograficzne, Seria A. Geografia Fizyczna* 68, 223-233
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., 2018. The period of intense vegetation in Poland in the years 1966–2015. *Badania Fizjograficzne, Seria A. Geografia Fizyczna* 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. *Theoretical and Applied Climatology* 135 (3-4), 1517-1530
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., Bednorz E., 2019c. The effect of macro-scale circulation types on the length of the growing season in Poland. *Meteorology and Atmospheric Physics* 131 (5), 1315-1325
- Tomczyk A.M., Szyga-Pluta K., Majkowska A., 2015. Frost and frost-free periods in Poland and neighbouring countries. *Open Geosciences* 7(1), 812-823
- Twardosz R., 2009. Fale niezwykłych upałów w Europie na początku XXI wieku. *Przegląd Geofizyczny* 54 (3-4), 193-204
- Unkašević M., Tošić I., 2009. An analysis of heat waves in Serbia. *Global and Planetary Change* 65, 17-26
- Unkašević M., Tošić I., 2015. Seasonal analysis of cold and heat waves in Serbia during the period 1949–2012. *Theoretical and Applied Climatology* 120, 29-40
- Urban A., Hanzlíková H., Kyselý J., Plavcová E., 2017. Impacts of the 2015 heat waves on mortality in the Czech Republic – a comparison with previous heat waves. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14, 1-19
- Urban A., Hondula D.M., Hanzlíková H., Kyselý J., 2019. The predictability of heat-related mortality in Prague, Czech Republic, during summer 2015—a comparison of selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology* 63 (4), 535-548
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009. Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa

- Vandentorren S., Suzan R., Medina S., Pascal M., Maulpoix A., Cohen J.C., Ledrans M., 2004. Mortality in 13 French Cities During the August 2003 Heat Wave. *American Journal of Public Health* 94 (9), 1518-1520.
- Ward J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58, 236-269
- Wibig J., 2007. Fale ciepła i chłodu w środkowej Polsce na przykładzie Łodzi. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica* 8, 27-61.
- Wibig J., 2018. Heat waves in Poland in the period 1951–2015: trends, patterns and driving factors. *Meteorology Hydrology and Water Management* 6 (1), 37-45
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2009. Coldwaves in Poland–frequency, trends and relationships with atmospheric circulation. *Geographia Polonica* 82, 47-59
- World Meteorological Organization (WMO) 2005. Technical Conference – Climate as a Resource. Beijing, China, 1-2 Nov. WMO, Geneva
- World Tourism Organization (UNWTO), 2008. Emerging Tourism Markets – The Coming Economic Boom, Press Release, UNWTO Madrid, 24 June 2008
- Wypych A., Ustrnul Z., Sulikowska A., Chmielewski F.M., Bochenek B., 2017. Spatial and temporal variability of the frost-free season in Central Europe and its circulation background. *International Journal of Climatology* 37, 3340-3352
- www.climate.nasa.gov
- Zyulyaeva Y.A., Studholme J.H.P., Zveryaev I.I., 2019. Long-term changes in wintertime temperature extremes in Moscow and their relation to regional atmospheric dynamics. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124, 92-109
- Yarnal B., 1993. *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press: London

