

dr Andrzej Araźny

Katedra Meteorologii i Klimatologii

Wydział Nauk o Ziemi

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

AUTOREFERAT

(załącznik 2)

Toruń, marzec 2019

1. Imię i nazwisko: Andrzej Araźny

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

- magister geografii,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Zakład Klimatologii,
specjalizacja klimatologia i ochrona klimatu,
tytuł pracy magisterskiej „*Warunki meteorologiczne lodowca Waldemara w porównaniu z warunkami na Równinie Kaffiöyra w lecie 1997 roku*”, promotor -
prof. dr hab. Gabriel Wójcik, 24.09.1998 r.
(podczas studiów m.in. asystent stażysta na V roku i Stypendium Stefana Batorego)
- dyplom kwalifikacji pedagogicznych,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, 24.09.1998 r.
- doktor nauk o Ziemi – geografia,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
Wydział Biologii i Nauk o Ziemi,
tytuł rozprawy doktorskiej „*Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971-2000*”, promotor - dr hab. Rajmund Przybylak, prof. UMK,
recenzenci: doc. dr hab. Krzysztof Błażejczyk, prof. dr hab. Gabriel Wójcik,
(rozprawa wyróżniona przez Komisję Doktorską Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMK),
obrona 11.03.2005 r., zatwierdzenie 01.04.2005 r.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

- 2015- do chwili obecnej - Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Meteorologii i Klimatologii (adiunkt),
- 2014-2015 - Instytut Geofizyki PAN w Warszawie (kierownik XXXVII Wyprawy Polarnej PAN na Spitsbergen),
- 2012-2014 - Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Meteorologii i Klimatologii (adiunkt),
- 2008-2012 - Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Geografii, Zakład Klimatologii (adiunkt),
- 2007-2008 - Instytut Geofizyki PAN w Warszawie (kierownik XXX Wyprawy Polarnej PAN na Spitsbergen),
- 2001-2007 - Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Geografii, Zakład Klimatologii (asystent),

- 2000-2001 - Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Toruniu, Zakład Geomorfologii i Hydrologii Niżu (asystent),
- 1999-2000 - Instytut Geofizyki PAN w Warszawie (zastępca kierownika i meteorolog XXII Wyprawy Polarnej PAN na Spitsbergen),
- 1998-1999 - Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Toruniu, Zakład Geomorfologii i Hydrologii Niżu (asystent).
- 1997-1998 – Zakład Klimatologii, Instytut Geografii, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, asystent – stażysta (V rok studiów)

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

Na osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego składa się zbiór dwunastu oryginalnych publikacji naukowych (9 artykułów z bazy w Web of Science Core Collection, 2 artykuły z listy B oraz 1 monografia) pod wspólnym tytułem:

WPŁYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ ORAZ CZYNNIKÓW LOKALNYCH NA WARUNKI KLIMATYCZNE I BIOKLIMATYCZNE WYBRANYCH OBSZARÓW ARKTYKI

Przedstawione jako osiągnięcie naukowe publikacje podzielono na 2 grupy tematyczne:

- I) warunki klimatyczne (termiczno-higryczne),
- II) warunki bioklimatyczne.

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa w układzie tematycznym (numeracja według załącznika 3):

I) warunki klimatyczne

1. **(KB.1) Arażny A.**, Przybylak R., Kejna M., 2016a. *Ground temperature changes on the Kaffiøyra Plain (Spitsbergen) in the summer seasons, 1975-2014*. Polish Polar Research 37(1): 1-21. doi: 10.1515/popore-2016-0004. **IF: 0.636, 20 pkt.**
2. **(KB.2) Arażny A.**, Przybylak R., Kejna M., 2016b. *Ground thermal regime on the Kaffiøyra plain (NW Spitsbergen) in the period from 1 September 2012 to 31 August 2014*. Bulletin of Geography. Physical Geography Series 10: 65-80, DOI: 10.1515/bgeo-2016-0005.

Praca indeksowana w Web of Science Core Collection, IF: 0.000, 13 pkt.

3. **(KB.3)** Przybylak R., **Arażny A.**, 2016. *Warming and drying of tundra and glacier summer climate in NW Spitsbergen from 1975 to 2014*. Polish Polar Research 37(2): 173-192, DOI: 10.1515/popore-2016-0011. **IF: 0.636, 20 pkt.**
4. **(KB.4)** Przybylak R., **Arażny A.**, Kejna M., (red.), 2012. *Topoclimatic diversity in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in global warming conditions*, Oficyna Wydawnicza "Turpress", Toruń: ss. 174. **25 pkt.**
5. **(KB.5)** Przybylak R., **Arażny A.**, Nordli Ø., Finkelnburg R., Kejna M., Budzik T., Migąła K., Sikora S., Puczek D., Rymer K., Rachlewicz G., 2014. *Spatial distribution of air temperature on Svalbard during 1 year with campaign measurements*. International Journal of Climatology 34 (14): 3702-3719, <https://doi.org/10.1002/joc.3937>. **IF: 3.157, 35 pkt.**
6. **(KB.6)** Przybylak R., **Arażny A.**, Ulandowska-Monarcha P., 2018. *The influence of atmospheric circulation on the spatial diversity of air temperature in the area of Forlandsundet (NW Spitsbergen) during 2010-2013*. International Journal of Climatology 38(1): 230-251, DOI: 10.1002/joc.5172. **IF: 3.100, 35 pkt.**
7. **(KB.7)** **Arażny A.**, Przybylak R., Wyszynski P., Wawrzyniak T., Nawrot A., Budzik T., 2018. *Spatial variations in air temperature and humidity over Hornsund fjord (Spitsbergen) from 1 July 2014 to 30 June 2015*. Geografiska Annaler. Series A: Physical Geography 100(1): 27-43, DOI: 10.1080/04353676.2017.1368832. **IF: 1.616, 25 pkt.**

II) warunki bioklimatyczne

8. **(KB.8)** **Arażny A.**, Błażejczyk K., 2007. *Warunki biometeorologiczne na Równinie Kaffiöyra i w regionie Lodowca Waldemara (NW Spitsbergen) w okresie od 16 lipca do 20 września 2005 r.* [w:] red. R. Przybylak, M. Kejna, A. Arażny, P. Głowacki, Abiotyczne środowisko Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń: 67-87. **6 pkt.**
9. **(KB.9)** **Arażny A.**, 2012. *Warunki biometeorologiczne w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w okresie od 11 lipca do 31 sierpnia 2010 r.* Przegląd Geograficzny 84 (3): 457-471. **5 pkt.**
10. **(KB.10)** **Arażny A.**, Migąła K., Sikora S., Budzik T., 2010. *Meteorological and biometeorological conditions in the Hornsund area (Spitsbergen) during the warm season*. Polish Polar Research 31(3): 217-238, DOI: 10.2478/v10183-010-0002-4. **IF: 0.767, 13 pkt.**

11. (KB.11) Araźny A., 2019. *Temporal and spatial variability of thermal and humidity stimuli in the Hornsund area (Svalbard)*. Polish Polar Research 40(1): 29-53. doi: 10.24425/ppr.2019.126346. **IF: 1.231, 20 pkt.**

12. (KB.12) Araźny A., Wyszyński P., Przybylak R., 2019. *A comparison of bioclimatic conditions on Franz Josef Land (the Arctic) between the turn of the nineteenth to twentieth century and present day*. Theoretical and Applied Climatology: 1-16, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-02763-y>. **IF: 2.321, 30 pkt.**

Suma punktów przedłożonych prac wg punktacji MNiSW z roku publikacji wynosi **247**.

Suma punktów liczona według udziału własnego – **150,1**

Sumaryczny wskaźnik wpływu IF (Impact Factor) z roku publikacji według Journal Citation Report wynosi **13.464**.

Indywidualny wkład (%) Habilitanta w powstanie poszczególnych prac zawiera załącznik 3.

Powyższe opracowania powstały w ramach realizacji następujących projektów badawczych:

- 2013-2016 Projekt NCN nr DEC-2012/07/B/ST10/04002 pt. „*Zmienność klimatu Arktyki i Subarktyki Rosyjskiej w ostatnich trzystu latach*”, wykonawca **(BK.12)**,
- 2013-2016 Projekt Programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza „*Arctic climate system study of ocean, sea ice and glaciers interactions in Svalbard area (AWAKE-2)*” – główny wykonawca **(BK.5, BK.7, BK.11)**,
- 2012-2015 Projekt NCN nr DEC-2011/03/B/ST10/05007-pt. „*Współczesne i historyczne zmiany klimatu i topoklimatów Svalbardu*” – główny wykonawca **(BK.1, BK.2, BK.3, BK.6)**,
- 2009-2011 Projekt Fundacji Polsko-Norweskiej PNRf-22-AI-1/07 „*Arctic Climate and Environment of the Nordic Seas and the Svalbard – Greenland Area – AWAKE*” - główny wykonawca **(BK.4, BK.5, BK.9)**,
- 2007-2010 Projekt Badawczy Specjalny Nr IPY 272/2007/d pt. „*Struktura przestrzenna pola temperatury powietrza jako podstawa do rozpoznania mechanizmów funkcjonowania ekosystemów na obszarze Zachodniego Spitsbergenu*” (TOPOCLIM) – wykonawca **(BK.10)**,
- 2004-2007 Projekt zamawiany KBN: Nr PBZ-KBN-108/P04/2004 „*Struktura, ewolucja i dynamika litosfery, kriosfery i biosfery w europejskim sektorze Arktyki oraz w Antarktyce*” - Wykonawca zadania 2: Reakcje abiotycznego środowiska polarnego na globalne zmiany klimatu – wykonawca **(BK.8)**.

Oświadczenia współautorów zamieszczono w załączniku 5.

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

1. WPROWADZENIE

Specyfika środowiska geograficznego Arktyki (różne rodzaje powierzchni: lądy, wody morskie oraz lód morski i lodowce) i warunki oświetleniowe (dzień i noc polarna) sprawiają, że arktyczny system klimatyczny znacznie różni się od pozostałych obszarów na kuli ziemskiej. W regionach polarnych występują bardzo trudne warunki dla życia ludzi. W czasie ostatnich kilkuset lat zmienił się klimat na kuli ziemskiej, co spowodowało również zmianę warunków do życia dla człowieka. Obecnie Arktyka ociepla się dwukrotnie szybciej od innych regionów na świecie (IPCC 2013, Cohen i in. 2014). **Arktyka odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu klimatu i warunków do życia w niższych szerokościach geograficznych** (Serreze i Barry 2014; Przybylak 2016). W Arktyce (zdefiniowanej jako obszar na północ od koła podbiegunowego) występują niesprzyjające warunki bioklimatyczne, każdego dnia można być narażonym na oddziaływanie zimna oraz wiatru (np. Gavhed 2003; ACIA 2005; Araźny 2008).

Dla obszaru Arktyki powstało wiele prac prezentujących jej warunki klimatyczne oraz mechanizmy, które sterują procesami klimatycznymi. Przegląd najważniejszych pozycji literatury z tego zakresu można znaleźć w pozycjach m.in. Bobylev i in. (2003); Turner and Marshall (2011); Lemke i in. (2012), Serreze i Barry (2014), Przybylak (2016). Wiedza dotycząca wpływu cyrkulacji atmosferycznej na warunki klimatyczne jest rozpoznana, ale z reguły dotyczy ona analizy pojedynczych i położonych nad morzem stacji (m.in. Przybylak 1992; Wójcik i in. 1992; Niedźwiedź 1993, 1997, 2007, 2013a; Araźny 1998; Hanssen-Bauer i Fjørland, 1998; Alekseev i in. 2003, Przybylak i Araźny 2006; Bednorz 2010; Łupikasza 2010; Käsmacher i Schneider 2011; Przybylak i in. 2012a, 2018 – **KB.6**; Przybylak i Maszewski 2012; Isaksen i in. 2016.

Mało jest prac z zakresu bioklimatologii człowieka w obszarach arktycznych, większość z nich dotyczy atlantycko-europejskiej Arktyki: m.in. Knothe (1931), Wójcik (1963), Szczepankiewicz-Szmyrka (1981, 1988), Marciniak (1983), Zawiaślak (1986), Gluza (1988), Szczepankiewicz-Szmyrka i Pereyma (1992), Nordli i in. (2000), Keimig i Bradley (2002), Araźny (2003, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012 – **KB.9**, 2019 – **KB.11**), Przybylak i Araźny (2005), Araźny i Błażejczyk (2007 – **KB.8**), Styszyńska (2007, 2013), Araźny i in. (2009, 2010 – **KB.10**, 2019 –

KB.12), Gluza i Siwek (2009), Bednorz i Kolendowicz (2010), Sikora i in. (2010, 2011), Mekis i in. (2015), Howarth i Laird (2017) oraz Maciejczyk i in. (2017). Powstało zaledwie kilka opracowań dotyczących wyjaśnienia wpływu cyrkulacji atmosferycznej na warunki biometeorologiczne w Arktyce, m.in.: Nordli i in. (2000), Araźny (2008, 2019 - **KB.11**), Araźny i in. (2010 – **KB.10**), Sikora i in. (2010, 2011).

Ze względu na trudne warunki środowiskowe, logistyczne i nakłady finansowe jest mało prac poświęconych zbadaniu wpływu cyrkulacji atmosferycznej i czynników lokalnych na stopień zróżnicowania klimatycznego i bioklimatycznego w skali przestrzennej. Niedostateczny stan badań stał się inspiracją i celem poznania wpływu cyrkulacji atmosferycznej i czynników lokalnych na stopień zróżnicowania klimatycznego i bioklimatycznego wybranych obszarów w Arktyce.

Do realizacji niniejszego celu wybrano trzy poligony badawcze: rejon Forlandsundet i Hornsundu na Spitsbergenie oraz Ziemię Franciszka Józefa. Autor jako pierwszy podjął próbę przedstawienia zróżnicowania szczegółowego warunków bioklimatycznych wybranych obszarów Arktyki. Do realizacji założonego celu utworzono sieć punktów pomiarowych i przestrzennych pomiarów topoklimatycznych oraz bioklimatycznych w otoczeniu Forlandsundet i Hornsundu na Spitsbergenie. W rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w lecie 2010 r. zakładałem, w ramach projektu polsko-norweskiego „AWAKE” wraz z prof. dr hab. R. Przybylakiem, sieć aż 18 punktów pomiarowych (w tym 10 automatycznych stacji meteorologicznych). Były to jedne z pierwszych pomiarów meteorologicznych w Arktyce prowadzone w tak dużym wymiarze przestrzennym. Obszar badań rejonu Forlandsundet obejmował badania w profilu pionowym od 2 do 590 m n.p.m., zróżnicowane pod względem rzeźby (grzbiety górskie, niziny, terasy, moreny), rodzaju podłoża (plaża, tundra, morena, lód lodowcowy) i odległości od morza (od brzegu morskiego do 6 km w głąb lądu). Wokół fiordu Hornsund latem 2014 roku uczestniczyłem, w ramach projektu polsko-norweskiego „AWAKE-2”, w uruchomianiu 11 stanowisk pomiarowych. Do tej pory warunki klimatyczne wokół tego fiordu nie były w pełni rozpoznane. Stanowiska pomiarowe reprezentowały zróżnicowane warunki środowiskowe: wysokość nad poziom morza od 2 do 568 m n.p.m.), odległość od brzegu morza do 3 km w głąb lądu i charakteru podłoża (plaża, tundra, morena, lód lodowcowy). Na Ziemi Franciszka Józefa zróżnicowanie warunków klimatycznych i bioklimatycznych prowadzono w sposób kameralny na podstawie źródeł

historycznych tj. z przełomu XIX i XX wieku. Stanowiska pomiarowe były położone na tundrze na wysokościach od 4 do 20 m n.p.m. blisko brzegu morskiego. Badania z zakresu tzw. bioklimatologii historycznej w Arktyce planuję rozwijać w przyszłości.

Z elementów klimatycznych do szczegółowej analizy wybrano warunki termiczne (temperaturę gruntu i powietrza) oraz higryczne (wilgotność względną powietrza i opady atmosferyczne). Natomiast warunki odczuwalne dla człowieka opisano wybranymi wskaźnikami biometeorologicznymi i biotermicznymi. Przeprowadzone badania warunków biometeorologicznych w rejonie Forlandsundet omówiono na podstawie wielkości ochładzającej powietrza (H), temperatury ochładzania wiatrem (WCT), przewidywanej termoizolacyjności odzieży (Iclp) i miernika odczucia ciepła B.A. Ajzenštata (Tc). W Hornsundzie analizowano ochładzanie wiatrem (WCI), temperaturę odczuwalną (STI), wielkość ochładzającą powietrza (H), bodźcowość temperatury i wilgotności powietrza oraz strumienie ciepła między człowiekiem a środowiskiem. Natomiast dla obszaru Ziemi Franciszka Józefa wykorzystano temperaturę ochładzania wiatrem (WCT), przewidywaną termoizolacyjność odzieży (Iclp) i dopuszczalny poziom aktywności fizycznej (MHR). Szczegółowy opis użytych w opracowaniu wskaźników biometeorologicznych i biotermicznych zawierają pozycje m.in. Błażejczyka (2004) i Błażejczyka i Kunert (2011). Do obliczenia wartości ww. wskaźników wykorzystano program komputerowy BioKlima (Błażejczyk 2018).

2. WPŁYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA WARUNKI KLIMATYCZNE (TERMICZNO-HIGRYCZNE)

Cyrkulacja atmosferyczna w Arktyce odgrywa znacznie większą rolę w kształtowaniu klimatu niż w innych obszarach na kuli ziemskiej. Badania prowadzone przy wykorzystaniu m.in. modeli klimatycznych wykazują, że obszary polarne najszybciej i najsilniej reagują na zmiany klimatu (m.in. Turner i Marshall 2011; Przybylak 2016).

Do analizy wpływu cyrkulacji atmosferycznej na warunki termiczno-higryczne na Spitsbergenie zastosowano kalendarz typów cyrkulacji T. Niedźwiedzia (2018). Autor katalogu wyróżnił 21 typów, dla których podstawą klasyfikacji był kierunek adwekcji powietrza lub brak wyraźnego napływu oraz rodzaj układu barycznego (Niedźwiedź 2013b). Jeśli dana sytuacja była adwekcyjna, oznaczono ją dużymi literami wskazującymi kierunek napływu powietrza (N, NE, E, SE, S, SW, W i NW). Rodzaj układu barycznego oznaczono w postaci

indeksu „a” dla sytuacji antycyklonalnych lub „c” dla sytuacji cyklonalnych. W opracowaniach dla dłuższych okresów zastosowano podział na 21 typów cyrkulacji, ponieważ gwarantują one większą szczegółowość uzyskanych wyników. Natomiast w opracowaniach z krótszym (np. rocznym okresem badawczym) zostały one połączone, wg propozycji Przybyłaka (1992): – $NW_a + Na + NE_a$, $NW_c + Nc + NE_c$ – adwekcja mas powietrza z północy, północnego zachodu i północnego wschodu; – $Ea + SE_a$, $Ec + SE_c$ – adwekcja mas powietrza ze wschodu i południowego wschodu; – $Sa + SW_a + Wa$, $Sc + SW_c + Wc$ – adwekcja mas powietrza z południa, południowego zachodu i zachodu; – $Ka + Ca$ – klin antycyklonalny oraz centrum wyżu; – $Bc + Cc$ – bruzda cyklonalna oraz centrum niżu.

W rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) zbadano wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki termiczne w sezonach letnich tj. w okresie do 21 lipca do 31 sierpnia w latach 1975-2014 **(KB.3)**. Cyrkulacja atmosferyczna wykazała małe zmiany, w wyniku czego trendy częstości występujących łączonych typów cyrkulacji nie są istotne statystycznie. Jednak wśród analizowanych łączonych typów największe zmiany odnotowano w przypadku typów: $NW_c + Nc + NE_c$ i $NW_a + Na + NE_a$ (wzrost częstości występowania o ok. 2%/10 lat) i $Sc + SW_c + Wc$ (spadek o ok. 3%/10 lat). Na podstawie badań stwierdzono istotną statystycznie zależność wartości temperatury powietrza na Lodowcu Waldemara (dla stanowiska przed czołem lodowca – LW1 i w partii firnowej – LW2) od cyrkulacji atmosferycznej. **Typy antycyklonalne/cyklonalne odpowiednio zwiększają/obniżają temperaturę powietrza na Lodowcu Waldemara (KB.3).** Ponieważ częstość typów antycyklonalnych i cyklonalnych latem nie zmieniła się istotnie, można przyjąć, że cyrkulacja atmosferyczna nie była powodem letniego wzrostu temperatury powietrza w ostatnich dziesięcioleciach w NW Spitsbergenie **(KB.3)**. Natomiast wyniki badań w przebiegu rocznym wykazały **istotny wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki termiczne w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen)**. Zbadano wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w sześciu stacjach meteorologicznych wokół Forlandsundet w latach 2010-2013 **(KB.6)**. Analizę przeprowadzono dla trzech parametrów temperatury powietrza: średniej dobowej (T_i), maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}). W analizowanym okresie w stosunku do poprzednich lat (1951-2010) wystąpiła mniejsza częstość typów antycyklonalnych w skali roku (o 5,8%), a szczególnie wiosną i jesienią (o 13,6%). **Wykazano znaczący wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zróżnicowanie przestrzenne temperatury powietrza.** Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na

rozkład temperatury powietrza nie był jednorodny w całym rejonie Forlandsundet. **Największe różnice stwierdzono pomiędzy przybrzeżnymi i śródlądowymi częściami badanego obszaru.** Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na przestrzenny rozkład temperatury powietrza w rejonie Forlandsundet zmieniał się w ciągu roku. W sezonie zimowym (wrzesień-maj) różnił się znacznie od obserwowanego latem (czerwiec-sierpień), a cecha ta była również widoczna w analizach najwyższych 10% (≥ 90 percentyla) i najniższych (≤ 10 percentyla) różnic temperatury powietrza. **Latem wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w skali topoklimatycznej był zdecydowanie mniejszy niż zimą (KB.6).**

Znaczny wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych stwierdzono również na drugim obszarze badawczym, w rejonie Hornsundu. Pierwsze badania topoklimatyczne wykonałem w dwóch okresach ciepłych (czerwiec-wrzesień) w latach 2007 i 2008. Warunki pogodowe w Hornsundzie były zdominowane w tym okresie przez sytuacje cyklonalne (61,9%). Szczególnie często występował typ NWc+Nc+NEc (26,6%) oraz Ca+Ka (14,8%), a z najmniejszą częstością notowano typy Ea+SEa (5,3%) i Sa+SWa+Wa (6,6%). Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza przedstawiono za pomocą odchyień średnich wartości podczas poszczególnych grup łączonych typów cyrkulacji od wartości średnich w tych okresach **(KB.10).** **Największe dodatnie odchylenia temperatury powietrza w Hornsundzie w okresach ciepłych w latach 2007 i 2008 wystąpiły przy typie cyrkulacji wyżowej Sa+SWa+Wa (odchylenie o 1,1°C), a ujemne podczas typu NWc+Nc+NEc (-0,5°C).** W trakcie kolejnej wyprawy, w okresie od lipca 2014 r. do czerwca 2015 r., założono i przeprowadzono pomiary w 11 stanowiskach pomiarowych (reprezentowały różne warunki środowiska geograficznego) wokół fiordu Hornsund **(KB.7).** Cyrkulacja atmosferyczna dla rejonu Hornsundu została opracowana na podstawie porównania częstości występowania typów cyrkulacji w wieloleciu 1951-2013 i w okresie 2014-2015. W trakcie wyprawy, od lipca 2014 do czerwca 2015 przeważały układy niżowe (65,8%), których występowanie było dwa razy częstsze niż układów wyżowych (31,0%). Wystąpiło o 12,9% więcej sytuacji cyklonalnych w stosunku do wielolecia 1951-2013. **W rejonie fiordu Hornsund największa ujemna różnica temperatury powietrza (3,0°C) wystąpiła między szczytem Fugleberget (568 m n.p.m.) a stacją bazową w Hornsundzie. Stwierdzono ją zimą przy antycyklonalnej cyrkulacji powietrza z kierunku NW+N+NE.** Natomiast w badanym sezonie letnim średnie różnice temperatury powietrza były największe

(2,0°C) między szczytem Fugleberget a stacją Hornsund i związane były z typem Sa+SWa+Wa (KB.7). Są to typy przynoszące w lecie najcieplejszą pogodę (Niedźwiedź 2013a). Dodatkowo zróżnicowaniu temperatury sprzyja silne nagrzewaniem się przy pogodzie radiacyjnej skalistego szczytu górskiego Fugleberget (KB.7, KB.10).

Analizę wpływu cyrkulacji atmosferycznej na zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych na Ziemi Franciszka Józefa wykonano na podstawie danych z reanalizy 20CRv2c (Compo i in. 2011). W pracy KB.12 wykorzystano kierunki i prędkości wiatru oraz wartości ciśnienia atmosferycznego podczas czterech historycznych wypraw w latach 1899/1900, 1903/1904, 1913/1914 i 1930/31. W badanych latach najwyższą anomalię termiczną stwierdzono podczas wyprawy 1930/31 w stacji Calm Bay, kiedy to było o 4,6°C cieplej niż obecnie (BK). Na tak wysoką anomalię wpływ miały ciepła jesień i zima, a szczególnie luty 1931, którego średnia miesięczna temperatura była wyższa niż w okresie współczesnym (1981-2010) aż o 10,7°C. Przyczyną ówczesnych ociepleń jesienno-zimowych był silny napływ nad badany obszar ciepłego powietrza z sektora południowego (BK.12).

Istotnym elementem klimatycznym są opady atmosferyczne. Analiza zależności cyrkulacji atmosferycznej z opadami atmosferycznymi na Lodowcu Waldemara w rejonie Forlandsundet w okresie letnim 1975-2014 wykazała znacznie mniejsze związki niż z temperaturą powietrza (KB.3). **Sytuacje antycyklonalne spowodowały spadek opadów atmosferycznych, a cyklonalne ich wzrost.** Stwierdzono statystycznie istotną korelację cyrkulacji atmosferycznej z opadami tylko dla stanowiska na czole Lodowca Waldemara podczas wszystkich cyklonicznych typów (KB.3). W latach 1980-2008 według Przybyłaka i in. (2009), największa suma dobową opadów występowała podczas napływu powietrza z sektora południowego i południowo-zachodniego (Sa-6,4 mm, Sc-4,7 mm, SWc-3,8 mm). Relacje te potwierdzono w sezonach letnich 2010 r. oraz 2011 r. **Największe sumy dobowe opadów atmosferycznych w okresie letnim w rejonie Forlandsundet notowano podczas napływu powietrza z kierunku południowo-zachodniego przy typie SWc (odpowiednio 5,7 i 22,7 mm) (KB.4).**

Wyniki przeprowadzonych badań w Hornsundzie w okresach ciepłych 2007 i 2008 r. wykazały, iż **największe dodatnie odchylenia wilgotności względnej stwierdzono podczas występowania typów Sa+SWa+Wa (11,0%) i Sc+SWc+Wc (5,6%), a najniższe przy napływie mas powietrza ze wschodu i północy (KB.10).** Badania wilgotności powietrza w Hornsundzie

kontynuowano w latach 2014-2015 (**KB.7**). Stwierdzono, że w miesiącach letnich najwyższe (16-14%) średnie różnice wilgotności względnej między stacjami Fugleberget i Hornsund występują przy typie Ea+SEa i NWa+Na+NEa. W sezonach przejściowych (jesień i wiosna) oraz zimą najwyższe (10-20%) dodatnie wartości średnich różnic wilgotności względnej stwierdzono między stacjami Fugleberget i Hornsund. Tak wysokie wartości notowano przy wszystkich typach synoptycznych, a **największą różnicę wilgotności względnej (20%) stwierdzono jesienią przy typie Ec+SEc**. Natomiast największe ujemne różnice wartości (odpowiednio 10 i 8%) notowano między Hyttevika a Hornsundem zimą (przy typie Ec+SEc) oraz wiosną (typ Ea+SEa) (**KB.7**). Podsumowaniem zagadnienia wpływ cyrkulacji atmosferycznej na wilgotność powietrza w Hornsundzie było opracowanie dla okresu 1978-2017 (**KB.11**). W tych latach średnio w roku przeważała cyrkulacja cyklonalna (60,0%) nad antycyklonalną (36,6%) dni. **W przebiegu rocznym w Hornsundzie najwyższa (91%) średnia wilgotność względna była przy napływie mas powietrza z kierunku południowo-zachodniego zarówno przy cyrkulacji cyklonalnej jak i antycyklonalnej. Najniższa wilgotność (70%) wystąpiła przy sytuacji NEa z podczas napływu arktycznych mas powietrza.** Przez cały rok przy sytuacjach SWc, Sc (oprócz lutego) i SWa (za wyjątkiem listopada) notowano powietrze bardzo wilgotne (>85%) w Hornsundzie (**KB.11**). **W Hornsundzie wartości wilgotności względnej powietrza zależały w większym stopniu od kierunku napływu mas powietrza, a w mniejszym od rodzaju układów barycznych.**

3. WPŁYW CZYNNIKÓW LOKALNYCH NA WARUNKI KLIMATYCZNE (TERMICZNO-HIGRYCZNE)

Warunki klimatyczne podlegają modyfikacjom w zależności od czynników lokalnych. W Arktyce najważniejszymi czynnikami lokalnymi jest wysokość nad poziomem morza, ekspozycja, rodzaj podłoża i jego uwilgocenie, odległość od morza, pokrycie terenu (lodowce, pokrywa śnieżna i lód morski) i brak wyższych form roślinności.

Znajomość warunków termicznych powierzchni czynnej oraz gruntu jest bardzo istotna m.in. dla procesów biologicznych zachodzących w środowisku polarnym. W rejonie Forlandsundet (Spitsbergen), stwierdzono znaczne zróżnicowanie temperatury gruntu w lecie w warstwie od 1 cm do 50 cm. Do analizy użyto dane pomiarowe prowadzone w 3 różnych, typowych dla środowiska polarnego, ekotopów położonych przy stacji Polarnej UMK na

Kaffiøyra: plaży, moreny i tundry. Stanowisko na piaszczystej plaży zbudowane jest z piasków i żwirów o słabym przewodnictwie, małej pojemności cieplnej oraz wysokim albedo (jasna barwa). Drugie stanowisko położone jest na płaskim wierzchołku moreny czołowo-bocznej Lodowca Aavatsmarka, zbudowane jest z gliny i ma małe albedo. Natomiast stanowisko na tundrze jest silnie uwilgocone i w największym stopniu porośnięte roślinnością (ok. 70%) **(KB.3, KB.4)**. Dane zebrano podczas 22 wypraw polarnych zorganizowanych latem (21 lipiec - 31 sierpień) w okresie 1975-2014 **(KB.1, KB.2, KB.4)**. W analizowanych wyprawach **średnio najcieplejszy grunt w całej badanej warstwie (do 50 cm) stwierdzono na stanowisku morena (6,2°C), a najchłodniejszy – na stanowisku tundra (5,2°C)**. Największy związek temperatura gruntu w całej badanej warstwie ma z temperaturą powietrza (współczynniki korelacji 0,61 – 0,84). Zachmurzenie, usłonecznienie i prędkość wiatru w istotny sposób wpływają na temperaturę gruntu, ale głównie w jego warstwie powierzchniowej 0-20 cm (współczynniki korelacji 0,17 – 0,35) **(KB.1)**. Badania prowadzone w cyklu wieloletnim wykazały, że **średnia roczna temperatura gruntu na Kaffiøyrze (1.09.2012 r. - 31.08.2014 r.) na wszystkich głębokościach jest wyższa od temperatury powietrza (na morenie, plaży i tundrze odpowiednio o 0,6, 1,6 i 1,6°C). Różnice te wynikają z właściwości cieplnych gruntu w badanych ekotopach oraz izolacyjnej roli pokrywy śnieżnej**. W przebiegu rocznym od maja do września stwierdzono na wszystkich stanowiskach (a na morenie nawet wcześniej - od kwietnia) insolacyjny typ rozkładu temperatury gruntu. W miesiącach od października do marca zanotowano typ radiacyjny. Zmiana kierunku strumienia cieplnego z zimowego na letni zachodzi w kwietniu-maju, natomiast z letniego na zimowy na przełomie września i października **(KB.2)**.

Wpływ czynników lokalnych na temperaturę powietrza przeprowadzono **w rejonie Forlandsundet (Spitsbergen) na Kaffiøyrze oraz Lodowcu Waldemara** (przed czołem lodowca – LW1 i w partii firnowej – LW2) **w sezonach letnich w okresie 1975-2014 (KB.3)**. Wykonana analiza potwierdziła spadek temperatury powietrza wraz ze wzrostem wysokości (od 11 m n.p.m. na Kaffiøyra do 375 m n.p.m. w górnej partii lodowca LW2) i zmianami charakteru powierzchni (od niezlodowaczonej na morenie do zlodowaczonej). Najwyższa średnia temperatura powietrza w lecie w rejonie Kaffiøyra stwierdzono na stacji KH (4,9°C), położonej w pobliżu wybrzeża Morza Grenlandzkiego. Na Lodowcu Waldemara średnia temperatura powietrza w jej strefie marginalnej (LW1) na wysokości 130 m n.p.m. wyniosła 4,1°C, a na polu

firnowym (LW2, 375 m n.p.m.) 2,7°C. Średni pionowy gradient temperatury powietrza między KH i LW2 wyniósł 0,61°C/100 m, natomiast między stanowiskami lodowcowymi 0,58°C/100 m. Najzimniejsze lata na lodowcu występowały w tym samym roku co na Kaffiøyrze, natomiast najcieplejsze miały miejsce w innych latach. W analizowanym okresie (1975-2014) stwierdzono istotny statystycznie wzrost termiki powietrza latem (0,24 w LW2 i 0,30°C w LW1/10 lat) 1975-2014 **(KB.3)**. Kolejne badania w okresie od 1 września 2010 do 31 sierpnia 2011 pozwoliły rozpoznać szczegółowo warunki topklimatyczne dla rejonu Forlandsundet na podstawie pomiarów w 18 stacjach **(KB.4)**. Dodatkowo do szerszego podsumowania wyników badań zróżnicowania przestrzennego i wpływu czynników na warunki termiczne pozyskano dane z kolejnych 12 stacji meteorologicznych działających w tym okresie na całym Svalbardzie od różnych instytucji: Norweskiego Instytutu Meteorologicznego w Oslo, Arktycznego i Antarktycznego Instytutu w Petersburgu, Technicznego Instytutu w Berlinie, Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie, Uniwersytetu Wrocławskiego, Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu i Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. Analizie poddano dane z 30 stacji, które były położone m.in. na różnych wysokościach (od 2 do 568 m n.p.m.) i szerokościach geograficznych (od Verlegenhukken na 80°04'N do Bjørnøya na 74°31'N) **(KB.5)**. **Powstało opracowanie rejonu Svalbardu w którym po raz pierwszy dla każdego miesiąca i sezonu powstały dokładne i wiarygodne mapy z rozkładem przestrzennym różnych parametrów termicznych (m.in. Tmax, Ti, Tmin). Stwierdzono iż, przez cały rok północne obszary Svalbardu są najzimniejsze, w szczególności jego wschodnia część (Nordaustlandet), która jest pokryta kopułą lodową. W zimie najniższa średnia temperatura spada w tym rejonie poniżej -20°C. Najwyższe temperatury powietrza odnotowano w zachodniej części Spitsbergenu, który jest ogrzewany przez ciepły prąd Spitsbergenu Zachodniego oraz ciepłe i wilgotne masy powietrza napływające wraz z cyklonami przemieszczającymi się z Islandii nad Morze Karskie. Latem najcieplejsza jest środkowa część Spitsbergenu (np. Svalbard Lufthaven 6,2°C) charakteryzująca się dużym stopniem kontynentalizmu klimatu (index wg Eweta >43), małym stopniem oceanizmu (index wg Marsza >2,6) i relatywnie mniejszym złodowaceniem w porównaniu z innymi obszarami (KB.5).**

Wykonana **analiza opadów atmosferycznych w rejonu Forlandsundet w sezonach letnich w okresie 1975-2014 potwierdziła ich wzrost wraz ze wzrostem wysokości (KB.3)**. Średnia suma opadów letnich na Kaffiøyrze, przed i w jego partii firnowej na Lodowcu

Waldemara wynosiła odpowiednio: 48,3; 67,2 i 121,5 mm. Średni pionowy gradient opadów między KH i LW2 wyniósł 20,1 mm/100 m, natomiast między stacjami lodowcowymi 22,2 mm/100 m. Zaobserwowano zmniejszenie się letnich opadów w badanym 40-leciu (nie są statystycznie istotne), zwłaszcza w partii firnowej lodowca Waldemara (17 mm/10 lat) **(KB.3)**. W okresach letnich 2010 i 2011 wykonano szczegółowe pomiary opadów atmosferycznych w rejonie Forlansundet w 11 stanowiskach pomiarowych **(KB.4)**. Mimo iż, sezony te charakteryzowały się bardzo niskimi wartościami opadów **wykazano, iż ich sumy zwiększają się wraz ze wzrostem wysokości, z powodu unoszenia się i w konsekwencji ochładzania mas powietrza nad wzgórzami i górami, prowadzi to do kondensacji pary wodnej, powstawania chmur i opadów atmosferycznych.**

W rejonie Forlansundet w okresie od lipca 2010 r. do sierpnia 2011 r. przeprowadzono również pomiary wilgotności względnej w 12 stanowiskach **(KB.4)**. W tak szerokim wymiarze pomiary wilgotności w skali lokalnej nie były do tej pory prowadzone na Spitsbergenie i prawdopodobnie również w Arktyce. **Stwierdzono, że największy wpływ na wartości wilgotności względnej miała wysokość n.p.m., odległość od morza i rodzaj podłoża.** Wnioski te potwierdzają pomiary wilgotności w cyklu rocznym. Najwilgotniejszymi punktami były szczyt górski Gråfjellet (położony na 345 m n.p.m.) i Sarsøyra (położona nad morzem). Wykazano najmniejszą wilgotność na stanowiskach na wygładzie polodowcowym przed Lodowcami Konow i Osborne i na terasie przed Lodowcem Waldemara. Najmniejsze (8%) zróżnicowanie przestrzenne tego parametru wilgotności notowano w październiku (między stanowiskiem górskim Gråfjellet, a terasą położoną na przedpolu Lodowca Waldemara), a największe (18%) w maju (między tymi samymi stanowiskami) **(KB.4)**. Przeprowadzone badania przestrzenne w rejonie Hornsundu, w 8 punktach w okresie 2014-2015, potwierdziły rolę ww. czynników. Najwilgotniejszymi stanowiskami w ciągu rok był szczyt Fugleberget oraz Półwysep Treskelen. Różnią się one w największym stopniu od stacji Hornsund (położonej na wejściu do fiordu) wilgotnością o ok. odpowiednio 14 i 11% **(KB.7)**. W przypadku Fugleberget wzrost wilgotności względnej jest spowodowany położeniem stanowiska (568 m n.p.m) na poziomie występowania chmur niskich, natomiast punkt na Treskelenie zlokalizowany jest w środku fiordu Hornsund w jego wschodniej części **(KB.7)**. Zależności ww. między wilgotnością względną a rodzajem podłoża i wysokością po raz pierwszy były zaobserwowane w tym rejonie latem 2007 i 2008 **(KB.10)**.

4. WPŁYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA WARUNKI BIOKLIMATYCZNE

Na warunki bioklimatyczne wpływa m.in. cyrkulacja atmosferyczna. Poszczególne typy cyrkulacji i związane z nimi adwekcje mas powietrza (o różnych cechach fizycznych) determinują różne wartości poszczególnych elementów meteorologicznych i oddziałują również na warunki klimatu odczuwalnego.

W sezonie letnim 2005 r. w rejonie Forlandsundet szczegółowo wykazano, iż najwyższe wartości (ok. 9°C) odczuć cieplnych wg miernika Ajzenštata (T_c) na Kaffiøyra w stacji UMK odnotowano przy adwekcji z południowego-zachodu, a najniższe (ok. 3°C) przy cyrkulacji ze wschodu. Odczucie cieplne T_c przy sytuacjach antycyklonalnych występowało wyższe, o 1,3–1,5°C, niż przy sytuacjach cyklonalnych **(KB.8)**. Wartości ww. wskaźnika nawiązują w tym rejonie do kształtu róży wiatru dla T_c . Stwierdzono ścisły związek między napływem mas powietrza, a występowaniem wielkości ochładzającej powietrza (H) i zapotrzebowaniem na termoizolacyjność odzieży (I_{clp}). Cieśnina Forland przebiega z NNW na SSE. Najwyższe wartości H oraz wskaźnika I_{clp} występowały średnio przy wietrze z północny i północno-zachodu, a najniższe przy cyrkulacji z południowego-zachodu. W badanym okresie przewidywana izolacyjność odzieży była o 0,1–0,2 clo wyższa przy sytuacjach cyklonalnych, w porównaniu do antycyklonalnych. Podobne prawidłowości stwierdzono również na tym obszarze latem 2010 r. **(KB.9)**. **Na warunki biometeorologiczne w rejonie Forlandsundet (NW Spitsbergen) w bardzo istotny sposób wpływa cyrkulacja atmosferyczna tj. kierunek adwekcji mas powietrza oraz rodzaj układu barycznego. Odczucia cieplne w tym rejonie wykazują ścisły związek z lokalną orografią, które modyfikuje zazwyczaj cechy fizyczne powietrza.**

Badania te rozszerzono w rejonie Hornsundu. Wykonano analizę bodźcowości warunków termicznych i wilgotnościowych na podstawie wartości dobowej amplitudy temperatury powietrza (DTR), międzydobowej zmienności średniej dobowej temperatury powietrza (ΔT) oraz średnich dobowych wartości wilgotności względnej. W Hornsundzie w latach 1978-2014 średnie wartości DTR w przebiegu rocznym wahały się od 3,4°C w czerwcu do 6,0°C w lutym. W skali roku zakres zmian DTR przy poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej był najmniejszy (1,1°C) w sierpniu (od 3,2°C dla SWc do 4,3°C przy sytuacji NWa i Sc), a największy (6,7°C) w marcu (od 3,8°C przy SWa do 10,4°C przy typie NWa). **Najwyższe średnie wartości DTR (>6°C) niekorzystne dla człowieka, były notowane tylko**

zimą, przy napływie mas powietrza z sektora N-W oraz w ramach typów bezadwekcyjnych (Ka, Ca i Cc) oraz nieokreślonych (x). Na samopoczucie człowieka wpływa również wielkość ΔT , która jest uwarunkowana głównie przez cyrkulację atmosferyczną. W przebiegu rocznym najniższa średnia ΔT ($0,8^{\circ}\text{C}$) została stwierdzona w czerwcu i sierpniu, a najwyższa ($3,0^{\circ}\text{C}$) w styczniu i lutym. W ciągu roku zakres zmian ΔT przy poszczególnych typach cyrkulacji atmosferycznej był najmniejszy w lipcu (np. $0,7^{\circ}\text{C}$ - Wc), a największy w lutym (np. $4,9^{\circ}\text{C}$ - Na). **W Hornsundzie wg ΔT bodźce znaczące dla człowieka ($>4^{\circ}\text{C}$) występowały głównie w styczniu i lutym przy adwekcji powietrza z północnego-zachodu zarówno przy układach cyklonalnych i antycyklonalnych (KB.11).** W ciągu roku w Hornsundzie najwyższe średnie sezonowe wartości wilgotności względnej ($>85\%$) określone jako powietrze bardzo wilgotne było notowane przy napływie mas powietrza z kierunków S-SW-W w ramach cyrkulacji zarówno cyklonalnej, jak i antycyklonalnej. Natomiast najniższe ($<70\%$) przy sytuacji N-NE również przy obu rodzajach układów barycznych (KB.11). Z analizy, wykonanej w okresach ciepłych 2007 i 2008 r., wg wskaźników biometeorologicznych tj. wielkości ochładzającej powietrza (H) oraz wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI) wynika, iż pogorszenie odczuć ciepłych (odpowiednio o ok. 400 i 100 Wm^{-2}) występowało przy typach Ea+SEa oraz Ec+SEc. W przypadku wartości wskaźnika przewidywanej izolacyjności odzieży (Iclp) dla człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym nieznacznie zwiększone zapotrzebowanie na termoizolacyjność odzieży występowało przy typach Ea+SEa oraz Ec+SEc. Natomiast przy typach wyżowych: Sa+SWa+Wa oraz NWa+Na+NEa można zmniejszyć ilość niezbędnej odzieży o $0,15$ clo. Pogorszenie odczuć ciepłych (o ok. 4°C) w przypadku temperatury odczuwalnej (STI) występowało przy napływie mas powietrza w układach cyklonalnych z kierunku S-SW-W i E-SE, natomiast poprawa (o ok. $3-4^{\circ}\text{C}$) w układach antycyklonalnych z sektora północnego i południowo-zachodniego (KB.10). Na podstawie szczegółowych badań różnych parametrów biometeorologicznych **wykazano istotny wpływ cyrkulacji atmosferycznej na warunki bioklimatyczne w rejonie Hornsundu. Na odczucia ciepłe ma w największym stopniu kierunek napływu mas powietrza, a rodzaj układu barycznego ma zdecydowanie mniejsze znaczenie.**

Cyrkulacja atmosferyczna wpływała na warunki bioklimatyczne np. temperaturę ochładzania wiatrem (WCT) **na Ziemi Franciszka Józefa** podczas czterech wypraw w latach 1899/1900 – 1930/31 (KB.12.). Na podstawie analizy cyrkulacji atmosferycznej wg reanalizy

20CRv2c stwierdzono występowanie ekstremalnych anomalii wskaźników biometeorologicznych. Na przykład w lutym 1931 średnia miesięczna temperatura ochładzania wiatrem (WCT) była wyższa niż w okresie współczesnym (1981-2010) o 10,2°C. Przyczyną tak silnej anomalii WCT był silny napływ nad Ziemię Franciszka Józefa ciepłego powietrza z sektora południowego **(KB.12.)**.

5. WPŁYW CZYNNIKÓW LOKALNYCH NA WARUNKI BIOKLIMATYCZNE

Przeprowadzone badania pozwoliły także stwierdzić wpływ różnych czynników lokalnych na warunki bioklimatyczne w wybranych rejonach Arktyki.

We wschodnim rejonie Forlandsundet w sezonie letnim 2005 r. wykonano badania warunków biometeorologicznych w 3 stanowiskach: na Kaffiøyrze (KH) w stacji UMK na morenie (10 m n.p.m., 200 m od morza), przed Lodowcem Waldemara (ATA) na morenie (137 m n.p.m., 4 km od morza) i w partii firnowej Lodowca Waldemara (375 m n.p.m., ok. 6 km od morza) **(KB.8)**. Wykazano, iż dla wartości temperatury odczuwalnej (T_c) na stanowiskach KH i ATA przeważały (ok. 80%) odczucia „chłodno”, a w LW2 ich udział był zmniejszony do 58% (przy wzroście frekwencji 41% odczucia „zimno”). Na podstawie wartości WCT stwierdzono, że w sezonie letnim na NW Spitsbergenie rzadko występuje odczucia zimna (od 16% w ATA do 25% w górnej części lodowca w LW2). W przypadku warunków określonych wielkością ochładzającą powietrza wykazano, że sytuacje komfortowe („łagodnie” i „przyjemnie chłodno”) występowały z częstością od 48% przed Lodowcem Waldemara do 26% w stacji Kaffiøyra (jest to efekt głównie dwukrotnie większych prędkości wiatru na Kafføyra w porównaniu z Lodowcem Waldemara). Stwierdzono również, że dla człowieka przy małym wysiłku fizycznym (metabolizm 70 Wm^{-2}), dominację warunków środowiska termicznego „bardzo zimnego” od 50% (przed lodowcem) do 72% (w partii firnowej lodowca) **(KB.8)**. **W 2005 r. w okresie letnim we wschodnim rejonie Forlandsundet stwierdzono, że najsilniejsze bodźce termiczne występują na polu firnowym Lodowca Waldemara (wg wartości wskaźników T_c , I_{clp} i WCT) oraz w stacji na Kaffiøyrze (wg wskaźnika H).** W sezonie letnim 2010 r. rozszerzono zakres przestrzenny pomiarów na 8 stanowisk w całym rejonie Forlandsundet (o Prins Karls Forland i rejon St. Jonsfiord) badając zróżnicowanie warunków biometeorologicznych i wpływ czynników lokalnych w różnych sytuacjach pogodowych. Warunki biotermiczne zbadano wg wartości wskaźników biometeorologicznych: wielkości

ochładzającej powietrza (H), temperatury ochładzania wiatrem (WCT) oraz przewidywanej termoizolacyjności (Iclp) **(KB.9)**. Przeprowadzone szczegółowe badania pozwoliły stwierdzić, iż **najsilniejsze bodźce biotermiczne dla człowieka w rejonie Forlandsundet wystąpiły na stanowisku górskim Gråfjellet oraz w punktach nadmorskich: w okolicy Stacji UMK na Kaffiøyrze oraz na stanowisku Sarstangen. W pierwszym przypadku odczucia ciepłe wynikają z niższych wartości temperatury powietrza oraz większych prędkości wiatru w górach, natomiast na stanowiskach brzegowych wzdłuż Forlandsundet ze zwiększonej prędkości wiatru przez „efekt tunelowy” generowany przez Cieśninę Forland. Najłagodniejsze bodźce natomiast stwierdzono w zacisznych, osłoniętych punktach (przy husie w St. Jonsfiord i na stanowisku ATA, położonym u czoła Lodowca Waldemara) (KB.9).**

W rejonie Hornsundu zapoczątkowano badania przestrzenne warunków bioklimatycznych w okresach letnich 2007 i 2008. Podczas badań stwierdzono znaczące zróżnicowanie przestrzenne wskaźników biometeorologicznych w badanym rejonie (w czterech punktach: w Hornsundzie, na Lodowcu Hansa (na linii równowagi i w jego partii firnowej) oraz na szczycie górskim Fugleberget). Badania prowadzono na podstawie wskaźników biometeorologicznych: wskaźnika ochładzania wiatrem (WCI), przewidywanej termoizolacyjności odzieży (Iclp), wielkości ochładzającej powietrza (H) oraz temperatury odczuwalnej (STI). W ciągu badanego okresu, biorąc pod uwagę człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym (metabolizm 135 Wm^{-2}), wyraźnie przeważały warunki środowiska termicznego określanego jako „chłodne” i „zimne” (wg wskaźnika STI, H, WCI). W rozkładzie przestrzennym m.in. wg STI **stwierdzono bardzo silnie uprzywilejowanie solarne partii firnowej Lodowca Hansa podczas pogody radiacyjnej i złagodzenie odczuć ciepłych w stosunku do zachmurzonej niziny nadmorskiej i np. stacji w Hornsundzie.** Badając w okresie letnim odzież o optymalnych właściwościach izolacyjnych dla człowieka w ruchu niezbędna była odzież typowa dla sezonów przejściowych poniżej 2,5 clo. **W stacji w Hornsundzie położonej nad morzem stwierdzono w badanym okresie mniejsze zapotrzebowanie na odzież o 0,1-0,2 clo od tych na Lodowcu Hansa i szczycie górskim Fugleberget (o 0,1-0,4 clo).**

Autor zapoczątkował w rejonie Hornsundu badania przestrzenne wymiany strumieni ciepła między człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach polarnego środowiska geograficznego **(KB.10)**. Analiza struktury wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem

w rejonie Hornsundu w ciepłej porze roku 2007 i 2008 dowodzi, że przeważa utrata ciepła jawnego na drodze konwekcji (mC). Średnia wartość tego strumienia wahała się przestrzennie od $-123,2 \text{ Wm}^{-2}$ w stacji w Hornsundzie (10 m n.p.m) do $-116,8 \text{ Wm}^{-2}$ na Lodowcu Hansa - HT9 (421 m n.p.m). Ubytek tego ciepła stanowił ok. 50% sumy wszystkich strat energii z organizmu na tym obszarze. Drugim oraz trzecim pod względem wielkości strat był strumień ciepła utajonego związanego z parowaniem potu z powierzchni skóry (mE) oraz strumień promieniowania długofalowego (mL). Na wszystkich analizowanych stanowiskach wartości tych strumieni wahały się około 34 Wm^{-2} . Najmniejsze znaczenie w utracie ciepła z organizmu miał strumień respiracyjny (mRes). Średnia wartość salda wymiany energii układu człowiek-środowisko (mS) w całym okresie wyniosła: $65,9 \text{ Wm}^{-2}$ w Hornsundzie, $54,7 \text{ Wm}^{-2}$ w HT4 i $55,9 \text{ Wm}^{-2}$ w HT9 na Lodowcu Hansa. Saldo energetyczne układu „człowiek-środowisko” w rejonie Hornsundu od czerwca do września 2007 i 2008 r. było ujemne (**KB.10**). Badania strumieni wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w tym rejonie z udziałem autora zostały rozszerzone do pełnego cyklu rocznego (Sikora i in. 2011). Stwierdzono m.in. ujemne średnie wartości miesięczne salda bilansu cieplnego ciała człowieka na badanym obszarze (od stacji brzegowej w Hornsundzie po lodowcowe), co oznacza konieczność podejmowania działań przeciwdziałających nadmiernemu wyziębieniu organizmu (np. zwiększenia termoizolacyjności odzieży). W okresie od lipca 2014 do czerwca 2015 r. zbadano wpływ czynników lokalnych na zmienność przestrzenną bodźców termiczno-wilgotnościowych dla człowieka w rejonie fiordu Hornsund. Bodźce termiczne wyznaczono na podstawie dobowej amplitudy temperatury powietrza (DTR) (**KB.11**). Bodźce obojętne najczęściej (ok. 85% dni na całym obszarze) notowano latem, od 73% na szczycie górskim Fugleberget do 95% na Przylądku Wilczek. Bodźce silnie odczuwalne najgorsze dla człowieka notowano w całym rejonie Hornsundu tylko zimą, a najczęściej na Lodowcu Hansa w rejonie linii równowagi - HG4 (9%) oraz we wschodniej części fiordu na Treskelenie (6%). Bodźce termiczne zbadano również wg międzydobowej zmienności średniej dobowej temperatury powietrza (ΔT). Zmiany obojętne ΔT głównie notowano latem: od 82% na szczycie górskim Fugleberget do 99% na Przylądku Wilczek nad morzem. Zmiany ostre ($\Delta T > 6,0^{\circ}\text{C}$), określane jako drażniący bodziec dla człowieka są charakterystyczne dla całego obszaru w zimie i wiosną (najczęściej występowały na lodowcu i w górach – ok. 9-15%) (**KB.11**). Bodźce wilgotnościowe poddano analizie wg średnich dobowych wilgotności względnej. Struktura powietrza odczuwanego

przez człowieka wg wilgotności względnej w rejonie Hornsundu generalnie utrzymywała się na zbliżonym poziomie zimą, wiosną oraz jesienią. Lato było wyraźnie wilgotniejsze w stosunku do pozostałych sezonów. Latem częstość powietrza bardzo wilgotnego wahała się od 37% w stacji w Hornsundzie położonej na terasie nadmorskiej do 95% na Półwyspie Treskelen tj. stanowisko na środku fiordu i w jego wewnętrznej części. W rejonie Hornsundu najwyższa średnia roczna wilgotność względna była na szczycie Fugleberget i na Półwyspie Treskelen (> 50% częstości powietrza bardzo wilgotnego we wszystkich sezonach). W pierwszym przypadku wzrost wilgotności jest spowodowany wysokością n.p.m. i położeniem na poziomie występowania chmur niskich, natomiast punkt na Półwyspie Treseken zlokalizowany jest w środku fiordu Hornsund w jego wschodniej części **(KB.11)**. **W zróżnicowaniu przestrzennym bodźców termiczno-wilgotnościowych rejonu Hornsundu (SW Spitsbergen) najbardziej niekorzystne warunki stwierdzono na Lodowcu Hansa (wpływ podłoża lodowcowego i wysokości n.p.m.), na szczycie Fugleberget (głównie wpływ wysokości n.p.m.) i w głębi fiordu (wpływ suchszego powietrza kontynentalnego).** Analiza wykazała również w Hornsundzie złagodzenie bodźcowości termicznej m.in. uzyskano istotny statystycznie ujemny trend: bodźców silnie i ostro odczuwalnych (wg DTR), bodźców znacznych i ostrych (wg ΔT) w latach 1978-2018. Zanotowano także nieistotny dodatni trend liczby dni wg wilgotności względnej z powietrzem wilgotnym i bardzo wilgotnym **(KB.11)**.

Badania warunków bioklimatycznych na Ziemi Franciszka Józefa zostały przeprowadzone na podstawie temperatury ochładzania wiatrem, przewidywanej izolacyjności odzieży i dopuszczalnego poziomu aktywności fizycznej człowieka. Stanowiska pomiarowe były zlokalizowane w podobnych warunkach środowiskowych (m.in. podobna wysokość w m n.p.m., bezpośrednio nad brzegiem morskim na podłożu tundrowym) stąd też nie uzyskano większego zróżnicowania warunków bioklimatycznych w tamtym okresie. Badania wpływu czynników lokalnych na warunki bioklimatyczne w tym rejonie wymagają przeprowadzenia w przyszłości szczegółowych badań w bardziej zróżnicowanym środowisku geograficznym.

6. PODSUMOWANIE

W przedstawionym osiągnięciu naukowym wykazano istotny wpływ cyrkulacji atmosferycznej oraz czynników lokalnych na warunki klimatyczne i bioklimatyczne wybranych obszarów Arktyki. Zebrane samodzielnie lub w ramach współpracy podczas wypraw unikalne

dane w trudnym środowisku polarnym pozwoliły na lepsze poznanie mechanizmów Arktycznego Systemu Klimatycznego oraz wymiany ciepła między człowiekiem a środowiskiem atmosferycznym. **Po raz pierwszy wykonano, o tak wnikliwym charakterze, badania klimatyczno-bioklimatyczne w obszarach arktycznych na przykładzie rejonu Forlandsundet i Hornsundu na Spitsbergenie.** Przeprowadzono również analizę warunków bioklimatycznych na Ziemi Franciszka Józefa na podstawie danych historycznych.

Przeprowadzone szczegółowe analizy potwierdziły znaczny wpływ cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu warunków klimatycznych i bioklimatycznych badanych obszarów. Dowiedziono wpływu cyrkulacji atmosferycznej na klimat i bioklimat np. w rejonie Forlandsundet i Hornsundu na Spitsbergenie największe znaczenie odgrywał kierunek napływających mas powietrza, natomiast rola rodzaju układu barycznego była dużo mniejsza. **Wykazano istotne zmiany warunków klimatycznych w ostatnich 40 latach w Arktyce m.in.** w Hornsundzie na Spitsbergenie trend średniej rocznej temperatury powietrza wyniósł 1,1°C/10 lat, a zimą aż 1,7°C/10 lat. **Trwa dyskusja na temat przyczyn tego znacznego ocieplenia w Arktyce. Jedną z przyczyn mogą być zmiany cyrkulacji atmosferycznej** np. nad Spitsbergenem stwierdzono wzrost cyrkulacji zachodniej, południowej i aktywności niżów. Stwierdzony m.in. znaczny wzrost temperatury powietrza powoduje, że **współczesne warunki bioklimatyczne w obszarach arktycznych są wyraźnie łagodniejsze dla ludzi** mieszkających, pracujących i uprawiających turystykę w Arktyce. Stwierdzono np. na Spitsbergenie zmniejszenie bodźcowości termicznej dla człowieka. **Zanotowano istotny statystycznie wzrost częstości bodźców obojętnych** wg wartości amplitudy temperatury dobowej powietrza (ok. 15 dni/10 lat) i wg międzydobowych zmian średniej dobowej temperatury powietrza (o ok. 8 dni/10 lat), **a ubyło z kolei znacząco bodźców o odczuciach najbardziej niekorzystnych dla człowieka.**

W obszarach polarnych zróżnicowanie warunków klimatycznych jest powodowane oddziaływaniem dużych form rzeźby (wysokich gór, lodowców, fiordów, dolin) oraz przez całokształt czynników oddziałujących zwłaszcza na przygruntową warstwę powietrza (ekspozycja stoków, rodzaj podłoża i jego uwilgocenie, pokrycie terenu i zróżnicowana niska roślinność). Uzyskane **wyniki badań pozwoliły przedstawić szczegółową charakterystykę wpływu czynników lokalnych na warunki klimatyczne i bioklimatyczne.** Przeprowadzone badania przestrzenne wykazały „zaostczenie” się klimatu i bioklimatu i zwiększanie ich

kontrastów w miarę oddalania się od wybrzeży do wnętrza lądu oraz zmianą podłoża z tundrowo-morenowego na lodowcowy. **Przeprowadzenie kampanii pomiarowych pozwoliło na uzyskanie wiedzy na temat warunków bioklimatycznych w skali lokalnej w Arktyce** na podstawie m.in. sześciu różnych wskaźników biometeorologicznych i biotermicznych, miernika odczucia ciepła Ajzenštata, bodźcowości temperatury i wilgotności powietrza oraz strumieni ciepła między człowiekiem a środowiskiem. Wykazano, że saldo energetyczne wymiany ciepła między człowiekiem a otoczeniem w różnych warunkach lokalnych w badanych obszarach Arktyki jest ujemne. Stwierdzono, że **w warunkach klimatu polarnego mogą występować**, nawet w sezonie letnim, **duże problemy z zachowaniem przez organizm człowieka równowagi cieplnej, szczególnie w obszarach górskich i zlodowaconych.**

Novum dla nauki światowej są moje badania z zakresu bioklimatologii historycznej w Arktyce. W badaniach przedstawiono bioklimat w ujęciu regionalnym skupiając się na ich zmianach w czasie, tj. od okresu historycznego obejmującego przełom XIX i XX wieku do współczesnego. Stwierdzono, że np. na Ziemi Franciszka Józefa pomiędzy XIX i XX wiekiem występowały gorsze warunki odczuwalne dla człowieka niż obecnie. Natomiast podczas wyprawy z lat 1930-31 podczas tzw. Early Twenty Century Warming (ETCW) były one wyraźnie korzystniejsze.

Znajomość realnych warunków odczuwalnych dla człowieka w różnych rejonach Arktyki, w zależności od cyrkulacji atmosferycznej i czynników lokalnych, ma znaczenie praktyczne dla człowieka. Przeprowadzone wyniki badań są przydatne dla osób mieszkających w Arktyce oraz dla naukowców uczestniczących w badaniach terenowych. W Arktyce pojawiają się nowe perspektywy ekonomicznego wykorzystania bogactw naturalnych, możliwości transportu towarów (zmniejszenie powierzchni lodów morskich). Z obserwowaną i prognozowaną poprawą warunków pogodowych pojawiają się większe możliwości rozwoju turystyki.

CYTOWANA LITERATURA

(pominięto publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego)

ACIA., 2005, Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press.

ALEKSEJEV G.W., PODGORNOJ I.A., SWIAŠČENNIKOV P.N., KHROL' W.P., 1991, Osobennosti formirovanija klimata i jego izmenčivosti v polarnoj klimatičeskoj sistemie atmosfera – morskoi l'ed – okean [w:] B. A. Krutskich (ed.), Klimatičeskij režim Arktiki na rubieże XX i XXI w. Sankt-Petersburg: 4–29.

- ARAŻNY A., 1998, The connection of air temperature and precipitation with the atmospheric circulation in the summer season 1997 in the Kaffiöyra Plain (Spitsbergen). [w:] Polish Polar Studies. 25th International Polar Symposium, Głowacki P., Bednarek J. (red.), Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa: 43–50.
- ARAŻNY A., 2003, Variability of cooling power of the air in Hornsund (SW Spitsbergen) in the period 1979–2000. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 2542, *Studia Geograficzne*, 75: 447–461.
- ARAŻNY A., 2006, Variability of the predicted insulation index of clothing in the Norwegian Arctic for the period 1971–2000. *Polish Polar Research* 27: 341–357.
- ARAŻNY A., 2008, Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971–2000. Wydawnictwo Uniwersytetu M. Kopernika, Toruń.
- ARAŻNY A., 2009, Weather types in the Norwegian Arctic. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* 2: 107–120.
- ARAŻNY A., 2010, Biometeorological conditions in the Arctic during the First International Polar Year, 1882–1883. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* 3: 47–64.
- ARAŻNY A., MIGAŁA K., SIKORA S., BUDZIK T., PUCZKO D., 2009, Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne w rejonie Hornsundu w ciepłej porze roku 2007 i 2008, *Problemy Klimatologii Polarnej* 19, Gdynia: 203–222.
- BEDNORZ E., 2010, Occurrence of winter air temperature extremes in Central Spitsbergen. *Theoretical and Applied Climatology* 106(3–4): 547–556.
- BEDNORZ E., KOLENDOWICZ L., 2010, Summer 2009 thermal and bioclimatic conditions in the Ebba Valey region. *Polish Polar Research* 31: 327–348.
- BŁAŻEJCZYK K., 2004, Bioklimatyczne uwarunkowania turystyki i rekreacji w Polsce. *Prace Geograficzne IGIPZ PAN* 192.
- BŁAŻEJCZYK K., 2018, BioKlima - Universal tool for bioclimatic and thermophysiological studies—<http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>.
- BŁAŻEJCZYK K., KUNERT A., 2011, Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce. *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce, Monografie IGIPZ PAN*, 13.
- BOBYLEV L.P., KONDRATYEV K.Y.A., JOHANNESSEN O.M. (red.), 2003, *Arctic Environment Variability in the Context of Global Change*. PraxisPublishing: Chichester.
- COHEN J., SCREEN J.A., FURTADO J.C., BARLOW M., WHITTLESTON D., COUMOU D., FRANCIS J., DETHLOFF K., ENTEKHABI D., OVERLAND J., JONES J., 2014, Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*, 7(9): 627–637.
- COMPO G.P., WHITAKER J.S., SARDESHMUKH P.D., MATSUI N., ALLAN R.J., YIN X., GLEASON B.E., VOSE R.S., RUTLEDGE G., BESSEMOULIN P., BRÖNNIMANN S., BRUNET M., CROUTHAMEL R.I., GRANT A.N., GROISMAN P.Y., JONES P.D., KRUK M.C., KRUGER A.C., MARSHALL G.J., MAUGERI M., MOK H.Y., NORDLI Ø., ROSS T.F., TRIGO R.M., WANG X.L., WOODRUFF S.D., WORLEY S.J., 2011, The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137:1–28.
- GAVHED D., 2003, Human responses to cold and wind. *Arbete och Hälsa* 2003:4, National Institute for Working Life, Stockholm.
- GLUZA A.F., 1988, Wyniki pomiarów ochładzania katatermometrycznego w lipcu i sierpniu 1986 r. w Calypsobyen (Zachodni Spitsbergen), [w:] XV Sympozjum Polarne, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław: 207–211.
- GLUZA A.F., SIWEK K., 2009, Odczuwalność cieplna w sezonach letnich 2007 i 2008 w Calypsobyen (Spitsbergen). *Problemy Klimatologii Polarnej* 19: 223–231.
- HANSSEN-BAUER I., FØRLAND E.J., 1998, Long-term trends in precipitation and temperature in the Norwegian Arctic: can they be explained by changes in atmospheric circulation patterns? *Climate Research* 10: 143–153.
- HOWARTH M.E., LAIRD N.F., 2017, Intraseasonal Variations of Winter Wind Chill Temperatures across Canada and the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 56(11): 2951–2962.

- 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. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (red.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- ISAKSEN K., NORDLI Ø., FØRLAND E.J., ŁUPIKASZA E., EASTWOOD S., NIEDŹWIEDŹ T., 2016, Recent warming on Spitsbergen—Influence of atmospheric circulation and sea ice cover. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121: 11,913–11,931.
- KÄSMACHER O., SCHNEIDER C., 2011, An objective circulation pattern classification for the region of Svalbard. *Geografiska Annaler Series A Physical Geography*, 93: 259–271.
- KEIMIG F.T., BRADLEY R.S., 2002, Recent changes in wind chill temperatures at high latitudes in North America. *Geophysical Research Letters*, 29(4-1–4-4).
- KNOTHE H., 1931, Spitsbergen a regional study. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 211, Gotha.
- LEMKE P., JACOBI H.W. (red.), 2012, Arctic Climate Change: The ACSYS Decade and Beyond, Springer.
- ŁUPIKASZA E., 2010, Long-term variability of precipitation form in Hornsund (Spitsbergen) in relation to atmospheric circulation (1979–2009). *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 3: 65–86.
- MACIEJCZYK M., ARAŻNY A., OPYRCHAŁ M., 2017, Changes in aerobic performance, body composition and physical activity in polar explorers during a year-long stay at the polar station in the Arctic. *International Journal of Biometeorology* 61: 669–675.
- MARCINIAK K., 1983, Attempt of evolution of thermic conditions perceptible in summer at the Kaffiøyra (NW Spitsbergen). *Acta Universitatis Nicolai Copernici* 18, *Geografia* 56, Toruń: 125–145.
- MEKIS É., VINCENT L.A., SHEPHARD M.W., ZHANG X., 2015, Observed trends in severe weather conditions based on humidex, wind chill, and heavy rainfall events in Canada for 1953–2012. *Atmos–Ocean* 53: 383–397.
- NIEDŹWIEDŹ T., 1993, Long-term variability of the atmospheric circulation over Spitsbergen and its influence on the air temperature. *XX Polar Symposium*. Lublin: 17–30.
- NIEDŹWIEDŹ T., 1997, Long-term variability of the atmospheric circulation indices over Spitsbergen and its influence on the air temperature. *Problemy Klimatologii Polarnej* 7: 19–40.
- NIEDŹWIEDŹ T., 2007, Cyrkulacja atmosferyczna [w:] A.A. Marsz i A. Styszyńska (red.) *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny*, Wydawnictwo Akademii Morskiej: 45–63.
- NIEDŹWIEDŹ T., 2013a, Influence of atmospheric circulation on the air temperature at Hornsund, [w:] A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.), *Climate and climate change at Hornsund, Svalbard*. Maritime University, Gdynia: 165–171.
- NIEDŹWIEDŹ T., 2013b, The atmospheric circulation. [w:] *Climate and Climate Change at Hornsund, Svalbard*, A.A. Marsz, A. Styszyńska (red.), Gdynia Maritime University, Gdynia: 57–74.
- NIEDŹWIEDŹ T., 2018, Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Spitsbergenu — zbiór komputerowy, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec. <http://www.kk.wnoz.us.edu.pl/nauka/kalendarz-typow-cyrkulacji/>.
- NORDLI Ø., FØRLAND E.J., NIEDŹWIEDŹ T., 2000, Wind-chill temperature at Svalbard and Jan Mayen. *Klima. Report No. 07/00*, Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
- PRZYBYŁAK R., 1992, Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie (Spitsbergen) w okresie 1978-1983. *Dokumentacja Geograficzna*, 2.
- PRZYBYŁAK R., 2016, *The Climate of the Arctic. Second edition, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library 52*, Springer, Heidelberg/New York/Dordrecht/London.
- PRZYBYŁAK R., ARAŻNY A., 2005, Porównanie warunków klimatycznych i bioklimatycznych północnej części Ziemi Oskara II z innymi obszarami zachodniego wybrzeża Spitsbergenu w okresie 1975-2000. *Problemy Klimatologii Polarnej* 15: 119-131.
- PRZYBYŁAK R., ARAŻNY A., 2006, Climatic conditions of the north-western part of Oscar II Land (Spitsbergen) in the period between 1975 and 2000. *Polish Polar Research* 27(2): 133-152.
- PRZYBYŁAK R., MASZEWSKI R., 2012, The influence of atmospheric circulation on temperature and humidity conditions. [w:] *Topoclimatic Diversity in Forlandsundet Region (NW Spitsbergen) in Global Warming*

- Conditions, Przybylak R, Arażny A, Kejna M (red.). Oficyna Wydawnicza Turpress: Toruń, Poland, 139–145.
- PRZYBYŁAK R., ARAŻNY A., KEJNA M., 2012, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza w regionie Kaffiöry (NW Spitsbergen) w okresie od lipca 2005 r. do sierpnia 2010 r., [w:] Z. Bielec-Bąkowska, E. Łupikasz, A. Widawski (red.) Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu. Sosnowiec: 181–194.
- PRZYBYŁAK R., ARAŻNY A., KEJNA M., MASZEWSKI R., WYSZYŃSKI P., 2009, Zróżnicowanie opadów atmosferycznych w rejonie Kaffiöry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w latach 1980–2008. Problemy Klimatologii Polarnej 19, 189–202.
- SERREZE M.C., BARRY R.G., 2014, The Arctic Climate System. 2nd ed. Cambridge, Cambridge University Press.
- SIKORA S., BUDZIK T., MIGAŁA K., PUCZKO D., 2011, Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne południowo-zachodniego Svalbardu w 2010 roku. Problemy Klimatologii Polarnej 21: 213–228.
- SIKORA S., ARAŻNY A., BUDZIK T., MIGAŁA K., PUCZKO D., 2010, Warunki meteorologiczne i biometeorologiczne okolic Hornsundu (Spitsbergen Zachodni) w roku 2009, Problemy Klimatologii Polarnej 20, 83–101.
- STYSZYŃSKA A., 2007, Ochładzanie wiatrowe. [w:] Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie, Marsz A.A., Styszyńska A. (red.), Akademia Morska, Gdynia: 242–248.
- STYSZYŃSKA A., 2013, Wind chill. [w:] Climate and Climate Change at Hornsund, Svalbard, Marsz A.A., Styszyńska A (red.), Gdynia Maritime University, Gdynia: 260–267.
- SZCZEPANKIEWICZ-SZMYRKA A., 1981, Warunki biometeorologiczne na przedpolu lodowca Werenskiolda w lecie 1980 roku. [w:] A. Jahn, J. Jania, M. Pulina (red.) VIII Sympozjum Polarne, Sosnowiec: 43–48.
- SZCZEPANKIEWICZ-SZMYRKA A., 1988, Biometeorological conditions in the summer–autumn period of 1985 in the Werenskiold Glacier region. [w:] R. Brázdil (red.) Results of Investigation of the Geographical Research Expedition Spitsbergen 1985. Univerzita Purkyně, Brno: 142–152.
- SZCZEPANKIEWICZ-SZMYRKA A., PEREYMA J., 1992, Biometeorological conditions in Hornsund, in 1979–1980. [w:] K.W. Opaliński, R.Z. Klekowski (red.) Landscape, Life World and Man in High Arctic. Institute of Ecology, Polish Academy of Science, Warszawa: 103–111.
- TURNER J., MARSHALL G.J., 2011, Climate Change in the Polar Regions. Cambridge University Press: Cambridge.
- WÓJCIK G., 1963, O wielkości ochładzania bioklimatologicznego na Spitsbergenie, Biuletyn Komisji MRG, 1/32, Warszawa: 73–80.
- WÓJCIK G., MARCINIAK K., PRZYBYŁAK R., KEJNA M., 1992, Temperatura i opady a cyrkulacja atmosferyczna w regionie Kaffiöry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w okresie 1975–1989, Problemy Klimatologii Polarnej 2: 96–102.
- ZAWIŚLAK T., 1986, Preliminary characteristic of the bioclimatic conditions of the Spitsbergen west coast. Acta Universitatis Wratislaviensis. Results of Investigation of the Polish Scientific Spitsbergen Expeditions VI, Wrocław: 75–85.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

a) PRZED DOKTORATEM

Moje zainteresowania geografią, w tym klimatologią i meteorologią, rozpoczęły się w szkole podstawowej i rozwijały się w szkole średniej (m.in. uczestniczyłem w wielu rajdach i wycieczkach ZHP i PTTK). W celu rozwijania swoich zainteresowań o naukach o Ziemi podjąłem studia geograficzne na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Na ostatnich latach studiów dziennych wybrałem specjalizację z zakresu klimatologii i ochrony klimatu. W trakcie studiów uczestniczyłem w dwóch wyprawach polarnych w sezonach letnich (1997 i 1998) na Kaffiøyrę (Spitsbergen, Norwegia). Prowadziłem wówczas samodzielne obserwacje i pomiary meteorologiczne. Udział w ww. wyprawach zawdzięczam m.in. Uniwersytetowi Mikołaja Kopernika w Toruniu oraz Fundacji Stefana Batorego w Warszawie, z których otrzymałem stypendia naukowe. Na V roku studiów pełniłem obowiązki asystenta-stażysty w Zakładzie Klimatologii UMK. Studia wyższe magisterskie na kierunku geografia, o specjalności klimatologia i ochrona klimatu ukończyłem po powrocie z drugiej wyprawy na Spitsbergen w dniu 24.09.1998 r. z wynikiem bardzo dobrym. Pracę magisterską: *„Warunki meteorologiczne lodowca Waldemara w porównaniu z warunkami na Równinie Kaffiøyra w lecie 1997 roku”* napisałem pod kierunkiem prof. dr hab. Gabriela Wójcika w Zakładzie Klimatologii UMK w Toruniu. We wrześniu 1998 r. ukończyłem dwuletnie Studium Pedagogiczne przy UMK. Od 1.11.1998 r. do 11.02.2001 r. pracowałem na stanowisku asystenta w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Toruniu. W tym czasie w okresie od czerwca 1999 r. do października 2000 r. brałem udział w XXII Polarnej Wyprawie Spitsbergen 1999/2000 Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie, pełniąc obowiązki zastępcy kierownika Wyprawy oraz meteorologa. Podczas tego „zimowania” zainteresowałem się biometeorologią człowieka w obszarach polarnych. W grudniu 2000 r. otrzymałem propozycję podjęcia pracy w Zakładzie Klimatologii UMK od jego nowego kierownika, dr hab. Rajmunda Przybyłaka. Związane to było z przejściem na emeryturę prof. dr hab. Gabriela Wójcika. Od 12.02.2001 r. jestem zatrudniony w Zakładzie Klimatologii (od 2012 r. w Katedrze Klimatologii i Meteorologii) Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W ramach grantu promotorskiego KBN nr 3 P04E 045 25 w 2004 r. odbyłem m.in. staż w Norweskim Instytucie Meteorologicznym w Oslo oraz napisałem

rozprawę doktorską pt. „*Bioklimat Arktyki Norweskiej i jego zmienność w okresie 1971-2000*”, pod kierunkiem prof. dra hab. Rajmunda Przybyłaka. Obrona rozprawy przed Komisją Doktorską Wydziału BiNoZ odbyła się 11 marca 2005 r. Komisja jednogłośnie przyjęła obronę doktoratu oraz przegłosowała wniosek recenzentów o przyznanie nagrody. Przed uzyskaniem stopnia doktora, opublikowałem jako autor lub współautor 13 artykułów oraz 7 komunikatów i streszczeń konferencyjnych (Załącznik 3.II.D). Wyniki badań zaprezentowałem na 15 krajowych i międzynarodowych konferencjach (Załącznik 3.III.B).

b) PO DOKTORACIE

Po uzyskaniu doktoratu moje zainteresowania badawcze koncentrowały się na przeanalizowaniu wpływu cyrkulacji atmosferycznej oraz czynników lokalnych na warunki klimatyczne (głównie termiczno-higryczne) i bioklimatyczne wybranych obszarów Arktyki (opisane jako główne osiągnięcie habilitacyjne). Poza tym prowadziłem zróżnicowane tematycznie badania, które można podzielić na cztery grupy:

- i. Inne opracowania dotyczące klimatu i bioklimatu Arktyki,
- ii. Interakcje klimatyczno-glaciologiczne Antarktyki,
- iii. Zmienność czasowo-przestrzenna elementów i zjawisk meteorologicznych oraz ich ekstremów pogodowych w Europie Środkowej,
- iv. Klimat i bioklimat miast oraz terenów podmiejskich w Polsce.

(i) Inne opracowania dotyczące klimatu i bioklimatu Arktyki

Stanowią one po doktoracie około 50% efektów moich dotychczasowych badań. Wyniki rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w 5 artykułach m.in. dwóch w czasopiśmie *Polish Polar Research* (Załącznik 3, pozycja II.D.2 i II.D.4) oraz w monografii prezentującej syntetyczne podsumowanie najważniejszych wyników w ramach tego tematu (Załącznik 3, pozycja II.D.18). Badania klimatu i bioklimatu Arktyki po doktoracie prowadziłem w ramach kilku projektów specjalnych, grantów KBN, NCN i z funduszy polsko-norweskich w ramach tzw. projektów *AWAKE i AWAKE-2* (Załącznik 3.II.I). Większością projektów kierował (lub zadaniami badawczymi ds. klimatu) prof. dr hab. Rajmund Przybylak z Katedry Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu. Podczas pracy naukowej terenowej na Svalbardzie, jak

i kameralnej, miałem możliwość współpracy i publikowania wspólnych wyników badań z zakresu meteorologii i klimatologii polarnej z kolegami i koleżankami z różnych ośrodków naukowych w Polsce (m.in. Warszawa: prof. dr hab. K. Błażejczyk; prof. dr hab. P. Głowacki; dr hab. K. Markowicz, prof. UW; dr A. Nawrot; dr D. Puczek; dr T. Wawrzyniak; Wrocław: prof. dr hab. K. Migąła i dr S. Sikora; Łódź: prof. dr hab. K. Fortuniak i dr hab. W. Pawlak; Poznań: dr hab. G. Rachlewicz, prof. UAM i prof. dr hab. Z. Zwoliński; Kraków: dr hab. M. Maciejczyk; Lublin: dr K. Siwek i mgr A. Gluza; Sosnowiec: mgr T. Budzik oraz z macierzystym zespołem Katedry Meteorologii i Klimatologii UMK Toruń: prof. dr hab. R. Przybylakiem, dr hab. M. Kejną, prof. UMK, dr A. Pospieszyską, dr J. Uscką-Kowalkowską, dr P. Wyszynskim i doktorantką P. Ulandowską-Monarchą i in.) i za granicą (dr R. Finkelburg, dr M. Maturilli i dr Q. Nordli). Po doktoracie byłem współredaktorem i współautorem dwóch monografii z zakresu badań polarnych: jednej wykazanej w pierwszej części autoreferatu jako **KB.5** oraz razem z R. Przybylakiem, M. Kejną, i P. Głowackim „*Abiotycznego środowiska Spitsbergenu w latach 2005-2006 w warunkach globalnego ocieplenia*”. Byłem też współautorem rozdziału w monografii „*Dawne i współczesne geoeosystemy Spitsbergenu*” pod red. Z. Zwolińskiego, A. Kostrzewskiego i M. Puliny (Załącznik 3.II.D.42).

Z moich badań w Arktyce chciałbym wyróżnić kilka ważniejszych wątków badawczych i opracowań. W rejonie Kaffiøry (NW Spitsbergen) prowadziłem terenowe pomiary aktynometryczne w zespole klimatologów toruńskich. W tym zakresie współpracowano z dr Marion Maturilli z Instytutu Alfreda Wegenera w latach 2010-2014. Efektem prac było wykazanie, że składowe bilansu radiacyjnego w Ny-Ålesund oraz w rejonie Kaffiøry wskazują na znaczne zróżnicowanie lokalne uzależnione od rodzaju podłoża (tundra, morena, śnieg i lód) oraz ekspozycji i zacienienia danego obszaru. Również warunki meteorologiczne, obecność chmur, pary wodnej i aerozolu w atmosferze wpływa na transmisję promieniowania do i od powierzchni ziemi. Najważniejsze wyniki badań zamieszczono w *Polish Polar Research* (Załącznik 3, pozycja II.A.4). W okresie od czerwca 2014 do lipca 2015 podczas wyprawy Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk prowadziłem badania terenowe w rejonie Hornsundu. Część z tych badań została przedstawiona w osiągnięciu naukowym stanowiącym podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego (**KB.3** i **KB.11**). Zakres badań, które wówczas prowadziłem, był jednak znacznie szerszy. W ramach projektu tzw. *AWAKE-2* we współpracy z prof. dr hab. Krzysztofem Fortuniakiem i dr hab. Włodzimierzem Pawlakiem

(którzy pomogli mi skonfigurować stanowisko pomiarowe w Polsce) byłem odpowiedzialny za wykonanie pomiarów terenowych. Zebrane dane wykorzystaliśmy do analizy turbulencyjnej wymiany energii między wodą morską a atmosferą w Arktyce (na przykładzie poligonu badawczego w Hornsundzie) stosując metodę kowariancji wirów. Uzyskane wyniki zostały częściowo przedstawione w czasopiśmie *Theoretical and Applied Climatology* (Załącznik 3, pozycja II.A.7). Stwierdziliśmy m.in. iż, nieradiacyjna część bilansu cieplnego w powietrzu nad fiordem arktycznym w okresie maj-listopad 2014 r. była zdominowana przez strumień ciepła utajonego, który okazał się średnio znacznie większy niż strumień ciepła odczuwalnego. Kolejnym istotnym wątkiem badawczym w ramach ww. projektu było zbadanie czynników kształtujących dopływ promieniowania słonecznego na Spitsbergenie wiosną 2015 roku. Oprócz ww. badań bilansu radiacyjnego i cieplnego metodą kowariancji wirów wykonałem również serie pomiarów optycznej grubości aerozolowej i zawartości wody opadowej w atmosferze za pomocą Microtopsu II. We współpracy z dr hab. Krzysztofem Markowiczem, prof. UW i zespołem z Katedry Meteorologii i Klimatologii UMK przedstawiliśmy wielkość optycznej grubości aerozolowej i wykładnika Ångströma. Stwierdzono, że w badanym okresie nad Hornsundem aerozol atmosferyczny w 41% był pochodzenia antropogenicznego, co potwierdza tezę o znacznym wpływie człowieka na klimat obszarów polarnych. Uzyskane wyniki opublikowano w czasopiśmie *Polish Polar Research* (Załącznik 3, pozycja II.A.5). Kolejnym bardzo ważnym i pionierskim aspektem prowadzonych badań była fizjologia człowieka w warunkach polarnych. Przed wyjazdem do Hornsundu w 2014 r. nawiązałem współpracę - w tej dziedzinie - z dr hab. Marcinem Maciejczykiem z Akademii Wychowania Fizycznego im. B. Czecha w Krakowie. W czasie badań byłem odpowiedzialny za wykonanie badań przed i w trakcie wyprawy m.in. za pomiary antropometryczne, wydolności aerobowej (metodą Margaria) i ocenę aktywności fizycznej. Efektem tych badań było stwierdzenie poprawy wydolności aerobowej u polarników oraz korzystne zmiany w składzie ciała (tj. zwiększenie beztłuszczowej masy ciała). Podejmowana aktywność fizyczna nie spowodowała jednak redukcji otyśczenia ciała. W kolejnych pomiarach w trakcie pobytu nie odnotowano sezonowych fluktuacji wydolności aerobowej oraz masy ciała i jej składu. Szczegółowe wyniki badań zamieszczano w *International Journal of Biometeorology* (Załącznik 3, pozycja II.A.3).

(i) Interakcje klimatyczno-glaciologiczne Antarktyki

Antarktyka jest drugim głównym obszarem polarnym, który poznałem najlepiej, zarówno ze strony teoretycznej, jak i praktycznej podczas badań terenowych. Ten kierunek badań rozpocząłem z dr hab. Markiem Kejną, prof. UMK i dr hab. Ireneuszem Sobotą, prof. UMK w czasie wspólnych badań w ramach projektu NCN pt. „*Interakcje klimatyczno-glaciologiczne w warunkach globalnego ocieplenia. Studium na przykładzie SSSI No 8 (Wyspa Króla Jerzego, Zachodnia Antarktyka)*” (Załącznik 3.II.1). Badania przeprowadzono w rejonie Polskiej Stacji Antarktycznej im. H. Arctowskiego (Wyspa Króla Jerzego, Szetlandy Pd., Antarktyka), a szczegółowym monitoringiem objęto system glacialne dwóch lodowców: Ekologii oraz Sphinx (ESGS - Ecology and Sphinx Glaciers System). Na obszarze tym przeprowadzono badania topoklimatyczne, glaciologiczne i hydrologiczne w latach 2013-2014. Efektem badań było 5 publikacji m.in. wyniki opublikowano w *Polish Polar Research, Bulletin of Geography. Physical Geography Series* i *Antarctic Science* (Załącznik 3, pozycje II.A.1, II.D.40 i II.A.2). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w rejonie Wyspy Króla Jerzego w latach 1948-2012 wystąpił istotnie statystyczny wzrost temperatury powietrza sięgający 0,19°C/10 lat (tj. o 1,2°C w analizowanym okresie) (Załącznik 3, pozycja II.A.1). Wyniki pomiarów temperatury gruntu na tle warunków meteorologicznych na Stacji im. H. Arctowskiego przedstawiono w okresie od stycznia 2012 do lutego 2013. W pracy z współautorami zwróciłem szczególną uwagę m.in. wpływu na termikę gruntu warunków insolacyjnych i pokrywy śnieżnej (Załącznik 3, pozycja II.D.40). Szybki wzrost temperatury powietrza spowodował znaczne zmiany środowiskowe na Wyspie Króla Jerzego, m.in. deglacjację. Stwierdziliśmy, że w latach 1979-2012 powierzchnia system lodowcowego ESGS zmniejszyła się aż o 41%. Średnie tempo cofania się czoł lodowców na obszarze ESGS było bardzo duże i wyniosło w analizowanym okresie 16,6 m na rok (Załącznik 3, pozycja II.A.2).

(ii) Zmienność czasowo-przestrzenna elementów i zjawisk meteorologicznych oraz ich ekstremów pogodowych w Europie Środkowej.

Kolejnym tematem moich naukowych zainteresowań jest zagadnienie zmienności czasowej i przestrzennej głównych elementów meteorologicznych w Europie Środkowej. Badania ekstremalnych zjawisk pogodowych prowadziłem w latach 2005-2007 m.in. w ramach projektu zamawianego KBN „*Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne*

i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka)” (Załącznik 3.II.I). W ramach prac badawczych niniejszego projektu opublikowano kilka prac m.in. 3 artykuły w *Geographia Polonica* podsumowujące uzyskane wyniki badań przy wykorzystaniu danych meteorologicznych z reanaliz NCEP/NCAR w Europie Środkowej w latach 1951-2005 (Załącznik 3, pozycja II.D.9., II.D.14 i II.D.17). Wykazano, m.in. iż wskaźnik ekstremalności klimatu Polski i jego zmienność wykazał lekki wzrost, ale nieistotny statystycznie. W trakcie realizacji zadania, udowodniono, iż największa ekstremalność klimatu Polski wystąpiła pod koniec XX wieku oraz na przełomie lat 1970 i 1980 (Załącznik 3, pozycja II.D.14). Wykazałem ze współautorami wzrost występowania w ostatnich latach ekstremalnych zjawisk meteorologicznych związanych z dużymi prędkościami wiatru nad obszarem środkowej Europy. Rezultatem prac było stwierdzenie, że wystąpił istotny statystycznie wzrost średniej prędkości wiatru ($0,03 \text{ ms}^{-1} 10 \text{ lat}^{-1}$) oraz liczby dni z wiatrem silnym ($0,7 \text{ dni } 10 \text{ lat}^{-1}$) (Załącznik 3, pozycja II.D.9). Ponadto opracowano zagadnienie dopływu promieniowania słonecznego na obszarze Europy Środkowej, w którym wykazano jego istotny statystycznie wzrost (Załącznik 3, pozycja II.D.17).

W latach 2014-2015 brałem udział w projekcie *Internetowego Atlasu Województwa Kujawsko-Pomorskiego* w ramach funduszy województwa kujawsko-pomorskiego i Unii Europejskiej (<http://atlas.kujawsko-pomorskie.pl/>). Jestem autorem 10 map prezentujących rozkład przestrzenny z zakresu temperatury powietrza oraz termicznych pór roku i okresu wegetacji (załącznik 3, II.D.48). Mapy powstały z wykorzystaniem narzędzi Systemów Informacji Geograficznej. Aplikacja atlasu znalazła się wśród ośmiu projektów nominowanych do prestiżowej europejskiej nagrody *Public Procurement of Innovation*. Atlas z najważniejszymi mapami został również opublikowany w wersji papierowej (załącznik 3, II.D.49).

(iii) Klimat i bioklimat miast oraz terenów podmiejskich w Polsce

Na obszarze Polski prowadziłem badania nad zmiennością warunków klimatycznych i bioklimatycznych w miastach. Ten kierunek badań w 2007 rozpocząłem w Polsce w ramach prac *Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego* dla Stacji Koniczynka koło Torunia, której kierownikiem jest dr hab. Marek Kejna, prof. UMK. Dotyczyło ono zmienności wielkości ochładzającej powietrza dla tej stacji (Załącznik 3, pozycja II.D.8). Następnie

w kolejnej pracy dokonałem oceny bodźcowości warunków termiczno-wilgotnościowych w Polsce w okresie 1976-2005. Wykazano, że w przekroju południkowym w Polsce (od Helu do Katowic) występuje zróżnicowanie bodźcowości warunków termicznych i wilgotnościowych w zależności od odległości od morza, rzeźby terenu, kontynentalizmu i innych czynników środowiskowych (Załącznik 3, pozycja II.D.29). W latach 2011-2014 uczestniczyłem jako główny wykonawca w zespole klimatologów i kartografa z UMK w projekcie NCN „Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia w zależności od czynników naturalnych i antropogenicznych”. Głównym celem projektu było zbadanie m.in. szeroko rozumianego wpływu czynników środowiskowych, dynamicznych (cyrkulacja atmosferyczna) i antropogenicznych na warunki meteorologiczne i biometeorologiczne Torunia oraz stworzenie mapy topoklimatów Torunia odzwierciedlającej jego zróżnicowanie klimatyczne. Badania te zaowocowały kilkoma publikacjami o głównych elementach klimatu (promieniowanie słoneczne, temperatura i wilgotność powietrza, kierunek i prędkość wiatru). Stwierdziliśmy m.in. że suma roczna dopływu promieniowania całkowitego w niektórych punktach pomiarowych w mieście stanowiła <70% wartości promieniowania w stosunku do terenu otwartego poza miastem (Załącznik 3, pozycja II.D.45). Badania w ramach ww. projektu „miejskiego” zaowocowały publikacją w czasopiśmie *Theoretical and Applied Climatology* (Załącznik 3, pozycja II.A.6). W pracy tej wykazaliśmy m.in. istnienie wyraźnej wyspy ciepła o intensywności dochodzącej do ok. 1°C przedstawionej za pomocą średniej rocznej temperatury powietrza. W centrum miasta stwierdzono m.in. także znacząco większą częstość dni gorących, upalnych oraz nocy tropikalnych oraz zmniejszenie amplitudy dobowej. Potwierdziliśmy wcześniejsze badania o dużym zróżnicowaniu wilgotności względnej powietrza na obszarze miasta, z najniższymi wartościami w centrum (Załącznik 3, pozycja II.D.46). W Toruniu zabudowa miasta potwierdziła również regułę iż, redukuje ona średnią prędkość wiatru i w znacznym stopniu modyfikuje jego kierunek (Załącznik 3, pozycja II.D.51). Natomiast w ramach zagadnień zróżnicowania przestrzennego warunków biometeorologicznych na terenie Torunia oraz terenów podmiejskich opublikowałem z zespołem badawczym dwie prace (Załącznik 3, pozycje II.D.47 i II.D.52). Wykazałem, iż największe różnice w warunkach biometeorologicznych stwierdzono między centrum Torunia (punkt LO1 położony na terenie średniowiecznej starówki) i terenem podmiejskim (punkt KON na obszarze użytkowanym rolniczo w Koniczynie). W przebiegu rocznym

największe różnice między tymi dwoma stanowiskami (LO1-KON) występowały np. dla uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (UTCI): w styczniu (13,6°C), temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST) w styczniu (4,7°C), przewidywanej termoizolacyjności odzieży (Iclp) (dla człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym) w styczniu i lutym (0,4 clo).

c) INNE OSIĄGNIĘCIA

Kierowałem i uczestniczyłem w 8 wyprawach naukowych do Arktyki i Antarktyki (Załącznik 3.III.Q), którym poświęciłem około 50 miesięcy życia. Po doktoracie m.in. kierowałem XXX (2007/2008 podczas IV Międzynarodowego Roku Polarnego) i XXXVII (2014/2015) Polarną Wyprawą na Spitsbergen Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie. Podczas wypraw oprócz spraw technicznych i logistycznych prowadziłem badania naukowe z zakresu meteorologii, klimatologii, biometeorologii, aktynometrii, glaciologii, hydrologii i fizjologii człowieka.

Moje badania naukowe były realizowane dzięki możliwości uczestniczenia jako główny wykonawca w wielu projektach badawczych KBN, NCN, w tym w 4 projektach z zagranicy m.in. Unii Europejskiej i funduszu polsko-norweskich (Załącznik 3.II.I).

Odbyłem po doktoracie kilka staży i wyjazdów badawczych do różnych krajowych i zagranicznych ośrodków naukowych m.in.: Główne Obserwatorium Geofizyczne w Petersburgu, Rosyjska Akademia Nauk w Petersburgu, Uniwersytet Lwowski, Główny Instytut Meteorologii i Geodynamiki w Wiedniu, Australian Antarctic Division w Kingston, Instytut Geografii Rosyjskiej Akademii Nauk w Moskwie oraz Moskiewski Instytut Energetyczny (Załącznik 3.III.L).

Jestem Kierownikiem Obserwatorium Meteorologicznego UMK. W latach 2008-2010 koordynowałem prace związane z budową i uruchomieniem Obserwatorium Meteorologicznego Instytutu Geografii UMK. Na podstawie danych z Obserwatorium Meteorologicznego UMK wykonuję zlecenia i ekspertyzy dla urzędów państwowych i firm prywatnych (Załączniki 3.III.Q i 3.III.M).

Od 2010 r. poświęcam bardzo dużo czasu dla czasopisma *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* wydawanego na UMK w Toruniu. Pełnię w nim funkcję zastępcy Redaktora Naczelnego oraz Redaktora Tematycznego w zakresie meteorologii i klimatologii (Załącznik 3.III.G).

Jestem członkiem kilku towarzystw naukowych krajowych i zagranicznych (Załącznik 3.III.H) m.in. w Polskim Towarzystwie Geofizycznym pełnię funkcję Przewodniczącego Oddziału Pomorskiego oraz członka Zarządu Głównego PTGeof. Natomiast w Towarzystwie Naukowym w Toruniu sprawuję funkcję sekretarza III Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego. W 2018 r. zostałem wybrany na członka grupy roboczej *Atmosphere Working Group* w *International Arctic Science Committee*.

Brałem aktywny udział w licznych pracach organizacyjnych, działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej. Szczegółowe informacji na ten temat zamieszczono w załączniku 3.III.I.

Za działalność naukowo-dydaktyczną otrzymałem kilka nagród m.in. stypendium „*Polityki*” i Nagrody Rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu (Załączniki 3.II.J i 3.III.D).

d) PODSUMOWANIE

Po uzyskaniu stopienia doktora, opublikowałem jako autor lub współautor **72 recenzowane artykuły** z punktacją oraz około 70 komunikatów i streszczeń konferencyjnych (Załącznik 3. Biblioteka UMK). Wyniki badań po doktoracie prezentowałem (samodzielnie lub we współautorstwie) na **75 krajowych, jak i międzynarodowych konferencjach** (Załącznik 3.III.B). Obecnie moja łączna wartość punktacji wg KBN/MNiSzW wynosi **759 punktów KBN/MNiSzW** (Załącznik 3. Biblioteka UMK). W bazie Web of Sciences jest **14** moich artykułów (nie ma jeszcze **2**, które ukazały się w 2019 r., stan na 8.03.2019 r). **Liczba cytowań** publikacji wynosi: według **Web of Sciences** - **81** (Indeks Hirscha **5**), **Scopus** **131** (h- index **6**), **Google Scholar** **499** (h-indeks **12**). **Sumaryczny Impact Factor** moich publikacji wynosi **25.269**.

Andrzej Andrzej