

**dr inż. Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz**

Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni

Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**METEOROLOGICZNE UWARUNKOWANIA  
JAKOŚCI POWIETRZA  
NA OBSZARZE AGLOMERACJI MIEJSKICH**

**AUTOREFERAT**

*(załącznik 2)*

**Szczecin, sierpień 2018**

**1. Imię i nazwisko: Jadwiga Nidzgorska-Lencewicz****2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:**

- magister inżynier ochrony środowiska w zakresie ochrona gleb  
Akademia Rolnicza w Szczecinie,  
Wydział Rolniczy,  
kierunek ochrona środowiska (studia ukończone z wyróżnieniem),  
tytuł pracy magisterskiej „Kształtowanie się właściwości chemicznych gleb organicznych w obrębie przekroju Elektrownia Dolna Odra – Regalica”, promotor - prof. dr hab. Edward Niedźwiecki, 09.06.1999 r.
- doktor nauk rolniczych w zakresie agronomii  
Akademia Rolnicza w Szczecinie,  
Wydział Rolniczy,  
tytuł rozprawy doktorskiej „Czynniki meteorologiczne a zmiany uwilgotnienia i zasobów wody w glebie lekkiej”, promotor - dr hab. Małgorzata Czarnecka (rozprawa wyróżniona przez Radę Wydziału), 01.07.2005 r.
- magister geografii, specjalność – geografia morza  
Uniwersytet Szczeciński,  
Wydział Nauk o Ziemi,  
kierunek geografia,  
tytuł pracy magisterskiej „Zróżnicowanie przestrzenne jakości życia na terenie województwa zachodniopomorskiego”, promotor - dr hab. Igor Kavetsky, 14.07.2014 r.

**3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:**

Od 2005 roku do chwili obecnej Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa (do 31.12.2008 Akademia Rolnicza w Szczecinie):

- 01.10.2005 – 31.08.2006 asystent z doktoratem (0,9 etatu), Katedra Meteorologii i Klimatologii
- 01.09.2006 – do chwili obecnej, adiunkt, Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni (do 31.08.2011 – Katedra Meteorologii i Klimatologii, do 31.08.2013 – Zakład Meteorologii i Klimatologii).

W ciągu blisko 13-letniego okresu zatrudnienia dwukrotnie przebywałam na urlopie macierzyńskim połączonym z urlopem wychowawczym oraz urlopem rodzicielskim, a także 6-miesięcznym urlopie dla poratowania zdrowia. W okresie 2005-2018 łączna usprawiedliwiona absencja w pracy wyniosła ponad 32 miesiące.

**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 siedmiu oryginalnych publikacji naukowych pod wspólnym tytułem:

**METEOROLOGICZNE UWARUNKOWANIA JAKOŚCI POWIETRZA  
NA OBSZARZE AGLOMERACJI MIEJSKICH**

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

1. **(I.B.1)** CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. (2011): *Impact of weather conditions on winter and summer air quality*. International Agrophysics, ISSN 0236-8722, 25(1):7-12.  
IF = 1,574 20 pkt
2. **(I.B.2)** NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., MAKOSZA A. (2013): *Assessment of bioclimatic conditions within the area of Szczecin agglomeration*. Meteorologische Zeitschrift, 22(5):615-626, DOI 10.1127/0941-2948/2013/0451.  
IF = 1,160 20 pkt
3. **(I.B.3)** CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. (2014): *Intensity of urban heat island and air quality in Gdańsk during 2010 heat wave*. Polish Journal of Environmental Studies, 23(2):41-52.  
IF = 0,871 15 pkt
4. **(I.B.4)** NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., CZARNECKA M. (2015): *Winter weather conditions vs. air quality in Tricity, Poland*. Theoretical and Applied Climatology, 119(3-4):611-627, DOI 10.1007/s00704-014-1129-8.  
IF = 2,433 25 pkt
5. **(I.B.5)** NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. (2015): *Variability of human-biometeorological conditions in Gdańsk*. Polish Journal of Environmental Studies, 24(1):215-226, DOI: 10.15244/pjoes/26116.  
IF = 0,790 15 pkt
6. **(I.B.6)** CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. (2017): *The impact of thermal inversion on the variability of PM<sub>10</sub> concentration in winter seasons in Tricity*. Environment Protection Engineering, 44 (2):157-172, DOI: 10.5277/epe170213.  
IF = 0,486 15 pkt
7. **(I.B.7)** NIDZGORSKA-LENCEWICZ J. (2018): *Application of Artificial Neural Networks in prediction PM<sub>10</sub> levels in winter months: a case study in Tricity Agglomeration, Poland*. Atmosphere 9(6), 203; doi:10.3390/atmos9060203.  
IF<sub>2017</sub>= 1,704 20 pkt

Suma punktów przedłożonych prac według punktacji MNiSW (lista A) z roku publikacji wynosi **130** (liczba punktów liczona według udziału własnego – **93,5**). Sumaryczny wskaźnik wpływu IF (Impact Factor) z roku publikacji według Journal Citation Report wynosi **9,018**.

Indywidualny wkład (%) Habilitanta w powstanie poszczególnych prac zawiera załącznik 3. Oświadczenia współautorów zamieszczono w załączniku 5.

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

Rozwój miast jest zjawiskiem typowym dla współczesnej cywilizacji. Od początku XIX w. zaludnienie Ziemi wzrosło ponad 5,5-krotnie, a liczba ludności mieszkającej w miastach zwiększyła się przeszło stukrotnie [1]. Dane Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization - WHO) wskazują, że w 2010 roku mieszkańcy europejskich miast stanowili 70% ogółu populacji, a według prognoz do 2045 roku będzie to ponad 80% [2]. W polskich miastach mieszka około 23,3 miliona osób, co stanowi ponad 61% ogółu ludności kraju. Intensywna urbanizacja i industrializacja prowadzą do wzrostu typowych dla miast antropogenicznych powierzchni czynnych, które znacząco modyfikują środowisko atmosferyczne. W konsekwencji w wielkich miastach mamy do czynienia ze specyficznym mezoklimatem o wyraźnie odmiennych parametrach radiacyjnych, termicznych, wilgotnościowych, wietrznych oraz aerosanitarnych [3]. Najbardziej charakterystyczną cechą klimatu obszarów zurbanizowanych jest miejska wyspa ciepła (ang. Urban Heat Island - UHI). Jednak o ile fenomen UHI, jest szczególną i powszechnie znaną osobliwością wyróżniającą miasto, to cechą najbardziej charakterystyczną dla klimatu miast, jednocześnie jednoznacznie obniżającą komfort życia, jest duże zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego.

Zanieczyszczenie powietrza to kluczowy problem środowiskowy i społeczny. W 2000 roku na całym świecie odnotowano 0,8 miliona zgonów spowodowanych złą jakością powietrza, a u 7,9 mln osób wystąpiły problemy ze strony układu oddechowego, choroby płuc i nowotwory [4]. W Europie jakość powietrza, począwszy od 2004 r., ulega systematycznej poprawie na skutek malejącej emisji  $SO_x$ ,  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , NMVOC, CO i BC. Jedyną substancją, dla której odnotowano wzrost emisji jest benzo(a)piren (BaP) [5]. Mimo tych pozytywnych tendencji problemem wciąż nierozwiązanym, zarówno Polski jak i innych krajów Europy Środkowej oraz Środkowo-Wschodniej są znaczne przekroczenia dopuszczalnych stężeń pyłów o średnicy mniejszej niż 10  $\mu m$  ( $PM_{10}$ ) i 2,5  $\mu m$  ( $PM_{2,5}$ ) oraz benzo(a)pirenu, do których najczęściej dochodzi na obszarach miejskich i podmiejskich. Literatura szeroko dokumentuje szkodliwy, negatywny wpływ zanieczyszczeń powietrza, zwłaszcza pyłowych, na zdrowie ludzkie, nawet przy stosunkowo niskich stężeniach [6–13]. Według najnowszych danych zanieczyszczenia pyłowe są 6-tym wiodącym czynnikiem ryzyka (wśród 43 w rankingu), i odpowiadają za ponad 3 miliony zgonów na świecie rocznie [14]. W skali globalnej zaledwie 2% populacji miejskiej mieszka na obszarach, gdzie stężenia  $PM_{10}$  są niższe niż wytyczne WHO dotyczące jakości powietrza [15]. Z raportu Europejskiej Agencji

Środowiska [16], wynika, że w 2015 roku w sumie 19% populacji miejskiej Unii Europejskiej było narażone na poziomy  $PM_{10}$  powyżej dobowej wartości dopuszczalnej, a około 53% było narażone na stężenia przekraczające bardziej restrykcyjną wartość WHO. Światowa Organizacja Zdrowia [17] oceniająca jakość powietrza w miastach (ponad 3 tys. miast ze 103 krajów) według średnich rocznych stężeń  $PM_{2,5}$  wskazuje, że aż 33 z 50 najbardziej zanieczyszczonych miast Europy leży w naszym kraju. Również w ostatnich, stosunkowo ciepłych sezonach zimowych, rejestrowano w całej Polsce liczne przypadki ponadnormatywnych, dobowych stężeń  $PM_{10}$ , a w wielu rejonach Polski południowej Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska wydawały także komunikaty o przekroczeniu, zarówno poziomu informowania społeczeństwa (stężenie godzinne  $200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), jak i o ryzyku przekroczenia poziomu alarmowego (stężenie godzinne  $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). W Polsce dopuszczalne progi stężeń  $PM_{10}$  (a także innych zanieczyszczeń powietrza) reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [18], przy czym dodać należy, że limity poziomów informowania i alarmowego są przeciętnie dwukrotnie, a czasem nawet czterokrotnie wyższe niż w innych państwach UE.

W Polsce główną przyczyną zanieczyszczeń powietrza jest niska emisja. Monokultura węglowa w Polsce [19] nie ma w zasadzie odpowiednika w innym kraju unijnym. Niemal 70% domów jednorodzinnych w Polsce jest ogrzewanych węglem, często najniższej jakości, w większości przy wykorzystaniu przestarzałych urządzeń grzewczych. Energetyczne spalanie paliw, głównie węgla w źródłach stacjonarnych, jest łącznie odpowiedzialne za około 75% krajowej emisji  $PM_{10}$  i prawie 100% krajowej emisji  $SO_2$  [20]. W Polsce północnej i centralnej z uwagi na lepsze warunki przewietrzania sytuacje smogowe stanowią nieco mniejszy problem, natomiast na terenach Polski południowej, w szczególności na obszarach miejskich położonych w trudno przewietrzanych kotlinach i dobrze wykształconych dolinach rzecznych w pasie wyżyn i gór, epizody smogowe zdarzają się częściej [21].

Obok emisji o jakości powietrza atmosferycznego decydują warunki meteorologiczne. Literatura przedmiotu wyraźnie wskazuje, że pewne układy pogodowe stwarzają korzystne warunki dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, z innymi natomiast wiąże się duże ryzyko wzrostu ich koncentracji. Stopień dyspersji zanieczyszczeń zależy przede wszystkim od warunków termicznych kształtujących pośrednio wielkość emisji, dynamiki ruchów powietrza, typu cyrkulacji czy stratyfikacji termicznej w obrębie warstwy granicznej atmosfery [22-33]. W literaturze często przywoływana jest zima 2005/2006, kiedy to bardzo niekorzystne warunki pogodowe, wywołane stacjonarnym układem wysokiego ciśnienia, były przyczyną wielu epizodów smogowych rejestrowanych w Centralno-Wschodniej Europie [27,34]. Przykładowo, w Krakowie w ekstremalnie mroźnym styczniu 2006 r. średnie dobowe stężenia  $PM_{10}$  trzykrotnie przekroczyły  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Z kolei latem 2003 roku, tysiące mieszkańców Europy, odczuło tragiczne skutki synergicznego oddziaływania dokuczliwych upałów i towarzyszących im epizodów smogowych [35-38]. Wprawdzie letnie epizody smogowe w mniejszym stopniu dotyczą Polski, jednak i w naszym kraju bywały już sytuacje, kiedy podczas fal upałów (np. w lipcu 2010 roku) stężenia 1-godzinne ozonu przekroczyły

poziom  $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , czyli wartość progową informowania społeczeństwa o ryzyku zagrożenia zdrowia ze względu na jakość powietrza.

Badania wskazują, że takie sytuacje smogowe będą występowały coraz częściej. Z symulacji przeprowadzonych dla Europy Środkowej i Południowo-Wschodniej wynika bowiem, że za zmieniającym się klimatem ma podążać pogorszenie jakości powietrza, i to nie tylko z tytułu podwyższonych stężeń  $\text{O}_3$ , ale także spodziewanego wzrostu poziomu  $\text{SO}_2$ , przy stosunkowo najmniejszych zmianach stężeń pyłu  $\text{PM}_{10}$  [39]. Ocenia się, że w 2050 r., w wyniku zmian klimatycznych, wzrost poziomu  $\text{O}_3$  w ciepłe dni może zwiększyć śmiertelność w miastach o 4,5% [40]. Możliwości łagodzenia i przynajmniej częściowego przeciwdziałania tym niekorzystnym tendencjom wiążą się między innymi z restrukturyzacją przestrzeni i melioracjami klimatu miasta [41], przy czym należy podkreślić, że o efektywności prac planistyczno-urbanistycznych w dużej mierze decyduje wcześniejsze szczegółowe rozpoznanie lokalnych warunków bioklimatycznych, w tym aerosanitarnych.

Kierując się powyższymi przesłankami, w pracach, które przedstawiam jako osiągnięcie naukowe, podjęłam się badań, które miały na celu:

- ocenę wpływu głównych elementów i zjawisk meteorologicznych na czasową i przestrzenną zmienność stężeń zanieczyszczeń powietrza [I.B.1, I.B.3, I.B.4, I.B.6],
- próbę prognozowania stężeń  $\text{PM}_{10}$  w okresie zimowym [I.B.7],
- rozpoznanie i ocenę warunków bioklimatycznych [I.B.2, I.B.5].

Materiał źródłowy stanowiły dane imisyjne oraz meteorologiczne rejestrowane na automatycznych stacjach funkcjonujących w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. W najliczniejszej grupie prac posłużono się danymi pochodzącymi z Agencji Regionalnego Monitoringu Atmosfery Aglomeracji Gdańskiej (ARMAAG), monitorującej jakość powietrza na terenie Aglomeracji Trójmiejskiej. O wyborze do analizy danych z sieci ARMAAG zdecydowała przede wszystkim duża liczba punktów pomiarowych, kompletność i długość serii danych oraz ich jakość (dane są wykorzystywane przez WIOŚ). Sieć monitoringu została zaprojektowana na podstawie wieloletnich danych o warunkach meteorologicznych, gęstości zaludnienia i baz danych emisji ze źródeł punktowych i powierzchniowych.

Do realizacji wymienionych celów wykorzystano metody statystyczno-eksploracyjne.

#### **Ad.1.**

#### **Wpływ głównych elementów i zjawisk meteorologicznych na czasową i przestrzenną zmienność stężeń zanieczyszczeń powietrza**

Pogorszenie jakości powietrza wiąże się przeważnie z wystąpieniem niekorzystnych warunków atmosferycznych. Szczególnie niekorzystne warunki pogodowe, znacznie odbiegające od przeciętnych panowały w roku 2006. Najbardziej kontrastowe warunki termiczno-opadowe wystąpiły w czasie kalendarzowej zimy i lata, zwłaszcza w styczniu i w lipcu. W większości dni stycznia pogodę kształtował rozległy wyż rosyjski, sprowadzający do Polski mroźne i suche powietrze. Średnia miesięczna temperatura powietrza kształtowała

się od około  $-4^{\circ}\text{C}$  do około  $-8,5^{\circ}\text{C}$  i była na przeważającej części obszaru Polski o ponad  $5^{\circ}\text{C}$  niższa od średniej wieloletniej. Z kolei lipiec był ekstremalnie ciepły i suchy. Średnia miesięczna temperatura powietrza w całym kraju wahała się od około  $21$  do  $25^{\circ}\text{C}$  i przewyższała normę od  $3$  do  $6^{\circ}\text{C}$ , a opady na ogół stanowiły zaledwie  $25\%$  średniej wieloletniej. W obu miesiącach, w warunkach pogody antycyklonalnej, średnia miesięczna prędkość wiatru w zabudowie miejskiej nie przekraczała  $1,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , co zasadniczo ograniczało naturalną wentylację zanieczyszczonego powietrza.

Opisane nietypowe warunki atmosferyczne skłoniły do podjęcia badań, mających na celu ocenę wpływu głównych elementów meteorologicznych na podwyższone i ponadnormatywne stężenia zanieczyszczeń. Do realizacji założonych celów, w pracy oznaczonej jako **I.B.1**, wykorzystano wyniki pomiarów z automatycznych sieci monitoringu jakości powietrza, udostępnione przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska. Obejmowały one godzinne wartości stężeń  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$  oraz  $\text{O}_3$  a także wartości podstawowych elementów meteorologicznych z okresów: zimy (XII 2005r. – II 2006 r.) oraz lata (VI-VIII 2006 r.) z 12 miast Polski (Gdańsk, Szczecin, Olsztyn, Poznań, Warszawa, Łódź, Radom, Jelenia Góra, Opole, Dąbrowa Górnicza, Rzeszów, Kraków). Zasadniczym kryterium wyboru stacji była kompletność wyników z zakresu emisji i pomiarów meteorologicznych. Wszystkie stacje reprezentowały warunki zabudowy miejskiej. Przeprowadzona analiza pozwoliła stwierdzić, że w obu sezonach, zimowym i letnim, a zwłaszcza w styczniu i lipcu 2006 roku, nietypowe warunki meteorologiczne statystycznie istotnie wyjaśniały zmienność stężeń ocenianych zanieczyszczeń. Zimą 2005/2006 r. pogoda najsilniej determinowała jakość powietrza w miastach Polski południowej, natomiast latem 2006 r. wpływ pogody był bardziej zróżnicowany regionalnie, i zaznaczył się także jeszcze w centralnej i północno-wschodniej części kraju. Niekorzystne warunki pogody antycyklonalnej w styczniu 2006 r. silniej kształtowały stężenia zanieczyszczeń gazowych,  $\text{NO}_2$  i  $\text{SO}_2$  natomiast w lipcu –  $\text{O}_3$  i  $\text{PM}_{10}$ , przy czym jakość powietrza była uwarunkowana głównie przebiegiem temperatury powietrza i prędkości wiatru. Latem temperatura powietrza najczęściej objaśniała zmienność emisji  $\text{O}_3$  i  $\text{PM}_{10}$ , natomiast zimą - głównie  $\text{SO}_2$ . Spadek temperatury zimą odzwierciedlał intensywność procesów grzewczych i w efekcie wielkość emisji, natomiast wzrost latem - intensywność procesów fotochemicznych. Rola prędkości wiatru, uwidoczniła się przede wszystkim w odniesieniu do emisji  $\text{NO}_2$  - w obu porach roku i  $\text{PM}_{10}$  - w czasie zimy. Co ważne, wiatr okazał się wyłącznie czynnikiem dyspersji, co oznacza, że nawet w warunkach pogody antycyklonalnej, niezależnie od kierunku, przeważała wentylacyjna funkcja wiatru.

Problem złej jakości powietrza w Polsce pojawia się przede wszystkim w okresie zimowym [42]. Stąd w kolejnej pracy [**I.B.4**] ukierunkowanej na rozpoznanie uwarunkowań pogodowych kształtujących jakość powietrza, analizą objęto wyłącznie sezony zimowe (grudzień-luty w latach 2004/2005-2009/2010). Ponieważ o jakości powietrza w tej porze roku, decydują na ogół stężenia pyłu zawieszonego oraz dwutlenku siarki, jako skutek zwiększonej emisji z systemów grzewczych, tylko te dwa zanieczyszczenia zostały uwzględnione w opracowaniu. Analizę przeprowadzono w oparciu o godzinne wyniki

pomiarów stężeń obu zanieczyszczeń oraz podstawowych elementów meteorologicznych rejestrowanych automatycznie w pięciu stacjach funkcjonujących w sieci pomiarowej ARMAAG. Jedną z nich, mianowicie Gdynia Śródmieście znajduje się na nabrzeżu portu, co pozwoliło uwzględnić obciążenia związane z działalnością portu morskiego. Źródłem emisji w miastach portowych są bowiem silniki cumujących statków, holowników i innych jednostek działających w basenach portowych, manipulacja ładunkiem w porcie i operacje przeładunkowe, inwestycje portowe, intensywność oraz struktura połączeń portu z zapleczem, a także działalność produkcyjna i usługowa na terenach portowych [43].

Szczegółowa analiza warunków pogodowych oraz imisyjnych wykazała, że największe stężenia  $PM_{10}$  i  $SO_2$  oraz największą liczbę przypadków przekroczenia normy dobowej w odniesieniu do pyłu, zarejestrowano w dwóch najzimniejszych sezonach zimowych, w 2005/2006 oraz w 2009/2010 r. (temperatura powietrza odpowiednio  $-1,7^{\circ}C$  i  $-2,5^{\circ}C$ ). W analizowanej serii zim znalazły się również zimy ze średnią sezonową temperaturą powietrza powyżej  $0^{\circ}C$ . Zdecydowanie najcieplejsza zima wystąpiła w 2006/2007 r., w której stężenia ocenianych zanieczyszczeń, były o połowę mniejsze niż sezonie poprzednim.

Do oceny zróżnicowania wielkości emisji dwutlenku siarki i pyłu zawieszonego w zależności od warunków meteorologicznych wykorzystano analizę skupień. Wygenerowane skupienia, grupujące najwyższe stężenia  $SO_2$  i  $PM_{10}$ , charakteryzowały się w zdecydowanej większości przypadków najniższą temperaturą powietrza i najmniejszą wilgotnością względną a jednocześnie najwyższym lub podwyższonym ciśnieniem. Taki układ wskazuje na typ pogody wyżowej, która przyczynia się do intensyfikacji procesów grzewczych i w konsekwencji do wzrostu emisji produktów spalania tradycyjnych nośników energii, a która jednocześnie odznacza się osłabioną naturalną wentylacją powietrza. W skupieniach grupujących największe stężenia rola warunków meteorologicznych okazała się najsilniejsza, aczkolwiek istotny wpływ pogody udowodniono także dla pozostałych skupień. Generalnie wykazano, że podwyższone stężenia obu zanieczyszczeń w Aglomeracji Trójmiejskiej rejestruje się na ogół w warunkach obniżenia temperatury powietrza poniżej  $-5,5^{\circ}C$ , ciśnieniu przekraczającym 1020 hPa i przy wiatrach o prędkości poniżej  $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , najczęściej z kierunków SE i S.

W omawianej pracy [I.B.4], przeprowadzono również odrębną analizę, w której oceniono rolę inwersji termicznych w kształtowaniu stężeń  $PM_{10}$  na stacji Gdynia Śródmieście. Literatura przedmiotu wyraźnie wskazuje, że inwersje temperatury, izotermie, ale także warstwy o niewielkim pionowym gradiencie temperatury, tworzące się najczęściej w warunkach pogody wyżowej, stwarzają zdecydowanie najgorsze warunki dyspersji zanieczyszczeń, gdyż stanowią warstwy hamujące ich rozprzestrzenianie [44-49]. Potwierdziła to również przeprowadzona analiza, która wykazała, że w Gdyni Śródmieściu, 67% wszystkich przypadków przekroczeń dobowej normy dla emisji pyłu  $PM_{10}$  w analizowanym okresie, stwierdzono w dniach występowania nocnych (00 UTC) lub dziennych (12 UTC), dolnych lub górnych inwersji temperatury, zidentyfikowanych na podstawie wyników sondażu aerologicznych z Łeby. Rola inwersji najsilniej uwidoczniła się w



przywoływanym już mroźnym styczniu 2006 roku, kiedy to warstwy inwersyjne, zarówno dolne, jak i górne, zalegały prawie we wszystkich dniach tego miesiąca. Wykazano, że wzrost miąższości inwersji dolnych skutkowałam statystycznie istotnym wzrostem koncentracji pyłu, natomiast wyższe położenie podstawy inwersji górnych, zwłaszcza podczas dnia, przyczyniało się do obniżenia emisji. Temperatura powietrza i wysokość podstawy najniższej zalegających inwersji górnych wyjaśniały około 40% zmienności ponadnormatywnych stężeń pyłu PM<sub>10</sub> w zimie 2005/2006.

Mimo tego, że w literaturze zjawisko inwersji temperatury jest jednoznacznie identyfikowane ze złą jakością powietrza, prac łączących te dwa elementy jest relatywnie niewiele. Przywołane powyżej wyniki, uzyskane w pracy **I.B.4**, stanowiły zachętę do pogłębienia tematu. Praca **I.B.6** przedstawia charakterystykę inwersji termicznych zobrazowanych miąższością inwersji dolnych oraz wysokością podstawy pierwszej najniższej położonej inwersji wzniesionej i jej miąższością. Szczegółową metodykę identyfikacji inwersji, która została przeprowadzona w oparciu o dane z sondazy aerologicznych z Łeby, zawiera praca poświęcona wyłącznie temu zjawisku (załącznik 3, praca II.A.5). Charakterystyka tak ujętych inwersji termicznych stanowiła podstawę dalszej analizy statystycznej mającej na celu określenie ich roli w kształtowaniu wielkości i zmienności stężeń pyłu PM<sub>10</sub>, ponownie w Trójmieście, w dłuższej serii pomiarowej obejmującej dziewięć sezonów zimowych (2004/2005 do 2012/2013), różnych pod względem termicznym.

Jednoznacznie wykazano, że stężenia PM<sub>10</sub> powyżej normy dobowej ( $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) rejestrowano w wyraźnie gorszych warunkach pionowej wymiany w dolnej troposferze. O niekorzystnych warunkach dyspersji w dniach przekroczeń normy decydowała głównie większa grubość inwersji dolnych. Poza tym większą miąższością, a jednocześnie niższym położeniem podstawy w tych dniach, odznaczały się także inwersje górne. Generalnie jednak w całym okresie objętym analizą, o niekorzystnych warunkach dyspersji pyłu PM<sub>10</sub> decydowały głównie inwersje wzniesione, które występowały ze zbliżoną, prawie 90% częstością, zarówno w ciągu dnia, jak i nocy. Przeciętna wysokość podstawy oraz miąższość dziennych warstw inwersyjnych były mniejsze w porównaniu do nocnych, ale różnice były nieduże. Przygruntowe inwersje, w przeciwieństwie do inwersji górnych, rejestrowano ze znacznie mniejszą częstością, około trzykrotnie – nocą i nawet około dziewięciokrotnie rzadziej – w czasie dnia. Najsilniejszy, korzystny wpływ na wielkość stężeń PM<sub>10</sub> miało wysokie położenie podstawy dziennej inwersji wzniesionej, nieco słabszy, ale negatywny – miąższość nocnej inwersji dolnej. Szczególnie silna zależność stężeń PM<sub>10</sub> od grubości nocnych inwersji przygruntowych uwidoczniła się w wyraźnie chłodniejszych zimach w 2005/2006 r. oraz w 2010/2011 r. Całodobowe inwersje przygruntowe występowały rzadko, jedynie w 5% czasu kalendarzowej zimy.

Najbardziej charakterystyczną a jednocześnie najlepiej udokumentowaną cechą klimatu obszarów zurbanizowanych jest wzrost temperatury powietrza w centrum aglomeracji w porównaniu z jego peryferiami. Zjawisko to znane już od blisko 200 lat,

określane jest jako miejska wyspa ciepła (UHI), scharakteryzowane zostało również w naszym kraju, przede wszystkim w monografiach [1,50,51].

Badania łączące w sposób bezpośredni zagadnienia intensywności UHI i zanieczyszczeń powietrza są stosunkowo nieliczne, a w krajowej literaturze jak dotąd nie były podejmowane. Tymczasem na istotną rolę UHI w kształtowaniu poziomu emisji zanieczyszczeń wskazują m.in. wyniki Sarrat i in. dla Paryża [52], czy Poupkou i in. dla Salonik [53].

Związek intensywności miejskiej wyspy ciepła i jakości powietrza w Gdańsku na przykładzie lipca w 2010 roku analizowano w pracy **I.B.3**. W wymienionym miesiącu fale upałów, które początkowo objęły Niemcy, a następnie wschodnie rejony Europy, sprawiły, że średnia miesięczna temperatura w Polsce była znacznie większa od normy. Podstawę opracowania stanowiły godzinne wartości temperatury powietrza, wilgotności względnej, prędkości wiatru oraz stężeń zanieczyszczeń ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{SO}_2$ ) z czterech stacji ARMAAG. Intensywność miejskiej wyspy ciepła określono za pomocą różnic godzinnych wartości temperatury powietrza pomiędzy stacją położoną w centralnej części Gdańska (Wrzeszcz) a stacjami położonymi na obrzeżach aglomeracji (Stogi, Jasień), w tym w bezpośrednim sąsiedztwie Zatoki Gdańskiej (Nowy Port).

Stwierdzono, że najbardziej intensywna miejska wyspa ciepła rozwinęła się pomiędzy dzielnicą centralną Wrzeszcz a typowo nadmorską dzielnicą Nowy Port. W około 70% przypadków różnice temperatury mieściły się w przedziale od 1 do 3°C, przy przewadze różnic z zakresu od 1 do 2°C i występowały w ciągu całej doby. Jednak w przeciwieństwie do wyników prezentowanych w literaturze, największą intensywnością tak określonej miejskiej wyspy ciepła, ponad 4°C, wyróżniała się dzienna pora doby, a zwłaszcza godziny poranne (7.00-9.00) i wieczorne (17.00-20.00). Równie duże maksymalne różnice temperatury występowały także pomiędzy Wrzeszczem a Stogami, ale z mniejszą częstością i głównie w godzinach nocnych. Poza tym najczęściej, bo w około 40% przypadków, różnice średnich godzinnych wartości temperatury nie przekraczały 1°C. Ten zakres intensywności i typ struktury czasowej miejskiej wyspy ciepła, jako charakterystyczny dla miast o kilkuset tysięczonej liczbie ludności, jest powszechnie wymieniany w literaturze.

O wyraźnym, termicznym uprzywilejowaniu centralnej części miasta w lipcu 2010 r., w porównaniu do obrzeżnych dzielnic, Jasienia i Stogów, świadczy również większa częstość występowania klas *bardzo gorąco* a niewielka *zimno* według wskaźnika odczuwalności cieplnej ET (ang. Effective Temperature). Analiza korelacji wykazała statystycznie istotne związki pomiędzy wartościami ET w Gdańsku Wrzeszcz a natężeniem UHI obliczonym dla wszystkich trzech wersji: CU-I, CU-P, CU-C (oznaczenia przyjęte w pracy).

Możliwości wyjaśnienia ścisłości związków pomiędzy stężeniami zanieczyszczeń a intensywnością UHI, a także kierunków analizowanych związków, są bardzo ograniczone ze względu na złożoność przyczyn i warunków decydujących o jakości powietrza, z których zasadniczą rolę odgrywają wielkość emisji, skomplikowane procesy i reakcje chemiczne tworzenia i rozpadu ozonu z udziałem tlenków azotu i nadtlenków organicznych, ale także

dynamiczne zjawiska meteorologiczne, kształtujące dyspersję zanieczyszczeń. W aglomeracji nadmorskiej dodatkowym utrudnieniem w ocenie roli warunków atmosferycznych jest skomplikowana cyrkulacja lokalna, wynikająca z oddziaływania zarówno bryzy miejskiej, jak i bryzy morskiej lub lądowej, z których każda wykazuje wyraźną zmienność dobową. Niemniej jednak mając powyższe na uwadze, udało się wykazać, że intensywność UHI w lipcu 2010 roku miała statystycznie istotny wpływ na stężenia wszystkich analizowanych zanieczyszczeń i generalnie przyczyniała się do pogorszenia jakości powietrza w centrum Gdańska. Nieliczne przypadki pozytywnej roli UHI stwierdzono przede wszystkim w odniesieniu do emisji  $O_3$  w godzinach 1.00-12.00 oraz CO i  $NO_2$  w godzinach 13.00-18.00. Na ogół najsilniejszy wpływ intensywności UHI na jakość powietrza ujawniał się z opóźnieniem od 1 do 5 godzin, w zależności od pory doby i rodzaju zanieczyszczenia. Bezpośredni, a jednocześnie najściślejszy związek emisji z intensywnością UHI w tej samej porze doby (w godzinach 1.00-6.00) stwierdzono tylko w odniesieniu do  $O_3$  i  $NO_2$ .

## **Ad.2.**

### **Próba prognozowania stężeń $PM_{10}$ w okresie zimowym**

Jak już wcześniej sygnalizowano zanieczyszczenie powietrza pyłem jest problemem globalnym. Wśród 28 krajów UE Polska znajduje się na 3 miejscu pod względem szacowanych przedwczesnych zgonów (44 020 rocznie) wywołanych zanieczyszczeniem pyłami drobnymi (frakcja poniżej  $2,5 \mu m$ ) [16], i póki co, sytuacja nie zmienia się na lepsze, co potwierdzają kolejne raporty oceny jakości powietrza w strefach określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 2 sierpnia 2012 r. [42].

Wobec powyższych faktów, wszelkie badania zmierzające do prognozowania stężeń PM w atmosferze są nadal pożądane i bardzo aktualne. Naukowcy wykorzystują różne techniki modelowania statystycznego, bazujące na ogół na lokalnych danych pochodzących z monitoringu, a jedną z preferowanych metod są sztuczne sieci neuronowe (ang. Artificial Neural Network - ANN) [54-60]. Sieci neuronowe są bardzo wyrafinowaną techniką modelowania, zdolną do odwzorowywania nadzwyczaj złożonych funkcji. W prawie wszystkich przypadkach, w których opracowano modele zanieczyszczeń powietrza za pomocą ANN do modelowania i prognozowania, uzyskano dokładniejsze prognozy niż przy tradycyjnym liniowym podejściu statystycznym [59,61,62].

W pracy **I.B.7** sztuczne sieci neuronowe posłużyły do wygenerowania modeli umożliwiających prognozowanie stężeń  $PM_{10}$  z wyprzedzeniem od 1 do 6 godzin. W analizie wykorzystano dane z trzech stacji ARMAAG – Gdynia Pogórze, Sopot, Gdańsk Wrzeszcz, zarejestrowane w okresie zimowym (grudzień-luty) w latach 2002/2003 – 2016/2017. Jak już wcześniej wspomniano, Trójmiasto charakteryzuje się względnie dobrą jakością powietrza [42], niemniej jednak prawie każdej zimy rejestrowane stężenia  $PM_{10}$  przekraczają dopuszczalną wartość graniczną [31-33]. Danymi wejściowymi do modeli były godzinne wartości stężeń  $PM_{10}$  oraz elementów meteorologicznych: temperatury powietrza, wilgotności względnej, ciśnienia atmosferycznego oraz prędkości wiatru. W sumie ocenie

poddano 90 modeli. Ich jakość [56,57,60,63] oceniono analizując wielkość błędu predykcji wyrażoną wartościami IA (ang. Index of Agreement), FB (ang. Fractional Bias), RMSE (ang. Root Mean Square Error) oraz  $R^2$  (współczynnik determinacji) obliczonymi oddzielnie dla zbioru uczącego, walidacyjnego i testowego.

Wyniki oceny poszczególnych modeli były podstawą wyboru jednego modelu dla każdego wariantu czasowego, charakteryzującego się najlepszymi parametrami dopasowania w grupie danych testowych. Generalnie 2/3 uzyskanych modeli generowało najlepsze wyniki z 9 - 11 neuronami w warstwie ukrytej. Mając na uwadze wyniki testów, a także stosunkowo małą liczbę zmiennych wejściowych, można uznać uzyskane modele ANN za zadowalające. Wartości  $R^2$  dla niezależnego zbioru testowego dla trzech stacji uwzględnionych w analizie mieściły się w zakresie od 0,452 do 0,848, wartości IA wynosiły od 0,693 do 0,957, a RMSE zmieniały się w zakresie 8,80 do 23,56. Wytestowane modele nie wykazywały także tendencji do przeszacowania lub niedoszacowania godzinnych wartości  $PM_{10}$ , o czym świadczą wyniki wskaźnika FB. Najdokładniejszą prognozą charakteryzowały się oczywiście modele szacujące stężenie  $PM_{10}$  z 1-godzinnym wyprzedzeniem, natomiast wraz z wydłużaniem horyzontu czasowego (do 6 godzin) uzyskane modele zmniejszały zdolność predykcji. Najlepszą zgodnością w zbiorach treningowym, walidacyjnym oraz testowym, odznaczały się modele dla Sopotu – stacji o przeciętnie najmniejszych stężeniach i wahaniami  $PM_{10}$  w okresie zimy.

Uzyskane wyniki upoważniają do stwierdzenia, że sztuczne sieci neuronowe są skutecznym narzędziem w prognozowaniu poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłem o średnicy ziaren poniżej  $10 \mu m$  w okresie zimowym w warunkach lokalnych. Zdolność do dokładnego modelowania i przewidywania stężenia  $PM_{10}$  jest niezbędna do skutecznego zarządzania jakością powietrza a także kreowania odpowiedniej polityki. Uzyskane modele mogą być wykorzystane w systemie wczesnego ostrzegania i alarmowania o wystąpieniu sytuacji mogących powodować bezpośrednie zagrożenia dla zdrowia człowieka.

### **Ad.3.**

#### **Rozpoznanie i ocena warunków bioklimatycznych**

Słaba jakość powietrza w miastach często jest wzmocniona przez niekorzystne warunki biometeorologiczne. Nieliczne badania łączące te dwa zagadnienia wskazują na występowanie silnej synergii między odczuwalnością a złą jakością powietrza [53,64,65]. Stąd rozwinięcie problematyki jakości życia w mieście o warunkami bioklimatyczne.

W pracy **I.B.2** przedstawiono charakterystykę warunków bioklimatycznych na terenie Szczecina w oparciu o 6-letnie dane (2005-2010) z trzech stacji reprezentujących ścisłe centrum miasta (ul. Piłsudskiego), zabudowę wieloblokową (ul. Andrzejewskiego) oraz teren otwarty (ul. Łączna). Do oceny obciążeń cieplnych organizmu człowieka zastosowano wskaźnik UTCI (ang. Universal Thermal Climate Index), natomiast do oceny odczuć cieplnych wykorzystano wskaźnik ET (ang. Effective Temperature).

Wskaźnik UTCI został opracowany przy międzynarodowej współpracy wielu ośrodków naukowych, w ramach Akcji COST 730, a dzięki decyzji Światowej Organizacji Meteorologicznej został wprowadzony i jest obecnie wykorzystywany przez służby meteorologiczne na całym świecie. Skala oceny dla UTCI opiera się na obiektywnych zmianach parametrów fizjologicznych organizmu, zachodzących pod wpływem warunków środowiskowych niezależnie od populacji i procesów aklimatyzacji [66-69].

Wskaźnik ET określa odczuwalność człowieka podczas kąpieli powietrznych w cieniu. Temperatura efektywna należy do częściej stosowanych kompleksowych wskaźników, służących do oceny warunków bioklimatycznych uwzględniając łączny wpływ temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza i prędkości wiatru. Wielkość ET określono, przy zastosowaniu siedmiostopniowej „sinusoidalnej” skali opracowanej przez Baranowską i in. [70]. Skala ta jest powszechnie uznawana za najdokładniej odzwierciedlającą sezonową i regionalną zmienność klimatycznych warunków Polski i jest stosowana przez IMGW-PIB w krajowych prognozach biometeorologicznych.

Jakość powietrza scharakteryzowano za pomocą podstawowych miar statystycznych stężeń  $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ .

W skali roku warunki biotermiczne na obszarze aglomeracji szczecińskiej są wyraźnie zróżnicowane. W centrum miasta oraz w jego południowych dzielnicach dominuje klasa *brak obciążeń cieplnych* według UTCI i odczucia *komfortu* termicznego według ET. W północnych rejonach miasta najczęściej obserwowaną klasą jest *umiarkowany stres zimna* (UTCI) oraz odczucia cieplne *chłodno* i *zimno* (ET). Wśród sytuacji obciążających częstsze jest występowanie warunków powodujących dyskomfort zimna niż gorąca. W ciągu roku, niekorzystne warunki biometeorologiczne związane ze stresem zimna ( $UTCI < -13^{\circ}C$ ) występują z częstością około 12,5%, a odczucia związane z zimnem według ET stanowią 25% czasu. Z kolei dyskomfort termiczny związany ze stresem cieplnym przy wartościach UTCI powyżej  $32^{\circ}C$  i odczuciach termicznych ET *gorąco* i *bardzo gorąco* występuje nieporównywalnie rzadziej – odpowiednio 0,3 i 3,7% czasu. W ujęciu przestrzennym warunki obciążające organizm człowieka zimnem występują nawet czterokrotnie częściej w północnym rejonie miasta w stosunku do centrum. Z kolei obciążenia z tytułu gorąca najczęściej pojawiają się w centrum miasta.

Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują na fakt jednoczesnego występowania skrajnych obciążeń i odczuć cieplnych, zarówno z tytułu gorąca, jak i zimna, z wysokimi (w przypadku  $PM_{10}$  również ponadnormatywnymi) stężeniami zanieczyszczeń.

Najsilniejsze, statystycznie istotne powiązania warunków biotermicznych stwierdzono z imisją  $O_3$  oraz  $PM_{2,5}$ . W upalnym lipcu 2006 i 2010 roku, poziom imisji  $O_3$  można odpowiednio aż w 55 i 59 % wyjaśnić zmiennością wskaźnika ET.

Synergiczne, negatywne oddziaływanie warunków biotermicznych i zanieczyszczeń powietrza na organizm człowieka potwierdza też dodatkowa analiza częstości wezwań karetok pogotowia – w skrajnie uciążliwym pod względem termicznym lipcu 2006 roku była ona wyraźnie większa.

W kolejnej pracy [I.B.5] z zakresu omawianego wątku, scharakteryzowano czasową i przestrzenną zmienność warunków biotermicznych i aerosanitarnych w obrębie Gdańska (Wrzeszcz i Jasień). Analogicznie jak w przypadku poprzedniej pracy, klasyfikacji warunków biotermicznych dokonano za pomocą wskaźnika obciążeń cieplnych UTCI, natomiast jakość powietrza oceniono kompleksowym wskaźnikiem, a mianowicie indeksem CAQI (ang. Common Air Quality Index). Formuła indeksu CAQI została opracowana w ramach projektu CITEAIR na potrzeby porównywania jakości powietrza w różnych miastach Europy, a jego pięć klas nawiązuje do obowiązujących w krajach Unii Europejskiej standardów jakości powietrza.

Stwierdzono, że w Gdańsku, w okresie objętym analizą (2005-2010) najczęściej występują dwie klasy UTCI, *brak obciążeń cieplnych* oraz *umiarkowany stres zimna*, przy czym w centrum miasta (Wrzeszcz) częściej występuje *brak obciążeń cieplnych* a w jego południowo - zachodnich rejonach (Jasień) *umiarkowany stres zimna*. Korzystne warunki bioklimatyczne zdecydowanie dominują w półroczu ciepłym (IV-IX) - klasa *brak obciążeń cieplnych*, stanowi aż 65% czasu w centrum miasta i 51% czasu na jego obrzeżach. W półroczu chłodnym (X-III) natomiast, klasa *brak obciążeń cieplnych* występuje rzadko, z częstością 4,6% w centrum i zaledwie 2% na obrzeżach a najczęściej obserwowaną klasą obciążenia cieplnego w tym czasie jest *umiarkowany stres zimna* (Wrzeszcz - 54%, Jasień - 45%).

Według indeksu CAQI zadawalająca jakość powietrza nie stwarzająca zagrożenia dla ludzi (klasy bardzo niska, niska, średnia), występuje w około 96,5% czasu w ciągu roku w Gdańsku Wrzeszczu oraz w 98,8% - w Gdańsku Jasień. W obu stacjach najczęściej notowane były klasy *bardzo niska* i *niska*, z niewielką przewagą tej drugiej, zwłaszcza w Jasieniu. Klasy *wysoka* (*high*) i *bardzo wysoka* odpowiadające złej jakości powietrza, występują rzadko, częściej w centrum (3,5%) niż na obrzeżach (1,2%), przeważnie w miesiącach półroczu chłodnego. Stwierdzono, że o wszystkich przypadkach klas *wysoka* i *bardzo wysoka* zadecydowały duże stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub>.

Poza szczegółową charakterystyką czasową (również w ujęciu doby) i przestrzenną obu kompleksowych indeksów, odzwierciedlających warunki biotermiczne i aerosanitarnie, wykazano, że w Gdańsku zła jakość powietrza (klasy *wysoka* i *bardzo wysoka*), najczęściej występuje w warunkach obciążających organizm człowieka zimnem, przy czym zdecydowanie wyraźniej zaznaczyło się to w Jasieniu niż we Wrzeszczu. Dodatni związek i jednocześnie najwyższe wartości współczynnika korelacji stwierdzono pomiędzy CAQI i UTCI (9 - 26°C oraz >26°C). Niższe wartości współczynnika korelacji, jednocześnie o ujemnym kierunku, wytestowano między wartościami gridowymi indeksu CAQI i UTCI < 9°C.

## LITERATURA

1. Szymanowski M. (2004). *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego. Studia Geograficzne 77:229.
2. WHO (2012). *The European health report. Charting the way to well-being*.
3. Nidzgorska-Lencewicz J., Mąkosza A. (2016). *Specyficzne cechy klimatu miast w aspekcie zdrowia człowieka*. Kosmos, red. Skórska E., 65, 4(313):637-645.

4. WHO (2002). *World Health Report: Reducing Risks, Promoting Healthy Life*. Geneva.
5. EEA (2015). *Air quality in Europe - 2015 report*. No 5.
6. Kappos A.D., Bruckmann P., Eikmann T., Englert N., Heinrich U., Hoppe P., Koch E., Krause G.H.M., Kreyling W.G., Rauchfuss K., Rombout P., Schulz-Klemp V., Thiel W.R., Wichmann H.E. (2004). *Health effects of particles in ambient air*. Int J Hyg Environ Health 207:399-407.
7. Medina S., Plasencia A., Ballester F., Mucke H. G., Schwartz J. (2004). *Apheis: public health impact of PM<sub>10</sub> in 19 European cities*. J Epidem Comm Health 58: 831-836.
8. Wilson J.G., Kingham S., Pearce J., Sturman A.P. (2005). *A review of intraurban variation in particulate air pollution: implications for epidemiological research*. Atmos Environ 39: 6444-6462.
9. Dominici F., Peng R.D., Bell M.L., Pham L., McDermott A., Zeger S.L., et al. (2006). *Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases*. JAMA, 295:1127-1134.
10. Freitas M.C., Pacheco A. M. G., Verburg T. G., Wolterbeek H. T. (2010). *Effect of particulate matter, atmospheric gases, temperature, and humidity on respiratory and circulatory diseases' trends in Lisbon, Portugal*. Environ Monit Assess 162:113-121.
11. Shi L., Zanobetti A., Kloog I., Coull B. A., Koutrakis P., Melly S. J., Schwartz J. D. (2015). *Low-concentration PM<sub>2.5</sub> and mortality: estimating acute and chronic effects in a population-based study*. Environ Health Perspect 124(1):46-52.
12. Zwozdziak A., Gini M.I., Samek L., Rogula-Kozłowska W., Sowka I., Eleftheriadis K. (2017). *Implications of the aerosol size distribution modal structure of trace and major elements on human exposure, inhaled dose and relevance to the PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> metrics in a European pollution hotspot urban area*. J Aerosol Sci 103:38-52.
13. Widziewicz K., Rogula-Kozłowska W., Loska K., Kociszewska K., Majewski G. (2018). *Health risk impacts of exposure to airborne metals and benzo(a)pyrene during episodes of high PM<sub>10</sub> concentrations in Poland*. Biomed Environ Sci 31:323-332.
14. Lim S.S., Vos T., Flaxman A.D., Danaei G. et al. (2012). *A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010*. The Lancet 380: 2224-2260.
15. OECD (2012). *Environmental Outlook to 2050, The Consequences of Inaction*. Paris.
16. EEA (2017). *Air quality in Europe – 2017 report*. No 13.
17. WHO (2016). *Global urban ambient air pollution database*.
18. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031).
19. GUS (2014). *Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2012, 2013*. Warszawa, 298.
20. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (2015). *Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO w układzie klasyfikacji SNAP i NFR*. Raport podstawowy. Warszawa.
21. Ośródką L., Krajny E., Klejnowski K., Rogula-Kozłowska W., Błaszczuk J., Kobus D., Wypych A. (2011). *Indeks jakości powietrza jako miara zanieczyszczenia powietrza w Polsce*. Nauka Przyroda Technologie, 5, 4:1-11.
22. Elminir H. K. (2005). *Dependence of urban air pollutants on meteorology*. Sci Total Environ 350: 225-237.
23. Kukkonen, J., Pohjola M., Sokhi R.S., Luhana L., Kitwiroon N., Fragkou L., Rantamäki M., Berge E., Ødegaard V., Slørdal L.H., Denby B., Finardi S. (2005). *Analysis and evaluation of selected local-scale PM<sub>10</sub> air pollution episodes in four European cities: Helsinki, London, Milan and Oslo*. Atmos Environ 39:2759-2773.
24. Malek E., Davis T., Martin R.S., Silva P.J. (2006). *Meteorological and environmental aspects of one of the worst national air pollution episodes (January, 2004) in Logan, Cache Valley, Utah, USA*. Atmos Res 79:108-122.
25. Demuzere M., Trigo R. M., Vila-Guerau de Arellano J., van Lipzig N.P.M. (2009). *The impact of weather and atmospheric circulation on O<sub>3</sub> and PM<sub>10</sub> levels at a rural mid-latitude site*. Atmos Chem Phys 9: 2695-2714.
26. Içağa Y., Sabah E. (2009). *Statistical analysis of air pollutants and meteorological parameters in Afyon, Turkey*. Environ Model Asses 14: 259-266.
27. Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J. (2011). *Impact of weather conditions on winter and summer air quality*. Int Agroph 25(1):7-12.
28. Lazaridis M. (2011). *First principles of meteorology and air pollution*. Springer, 362.

29. Unal Y. S., Toros H., Deniz A., Incecik S. (2011). *Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM<sub>10</sub> concentrations in Istanbul metropolitan area*. Atmos Environ 45:5504-5513.
30. Rawicki K. (2014). *Variability of particulate matter concentrations in Poland in the winter 2012/2013*. Folia Pomer Univ Technol Stetin Agric Aliment Pisc Zootech 312(31):143-152.
31. Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J. (2015). *Application of cluster analysis in defining the meteorological conditions shaping the variability of PM<sub>10</sub> concentration*. Rocznik Ochrona Środowiska, 17:40-61.
32. Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J. (2017). *The impact of thermal inversion on the variability of PM<sub>10</sub> concentration in winter seasons in Tricity*. Environ Prot Eng 44(2):157-172.
33. Jędruszkiewicz J., Czernecki B., Marosz M. (2017). *The variability of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> concentrations in selected Polish agglomerations: the role of meteorological conditions, 2006-2016*. Int J Environ Health Res 27:441-462.
34. Juda-Rezler K., Reizer M., Oudinet J.P. (2011). *Determination and analysis of PM<sub>10</sub> source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006*. Atmos Environ 45(36):6557-6566.
35. Filleul L., Cassadou S., Medina S., Fabres P., Lefranc A., Eilstein D., et al. (2006). *The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003*. Environ Health Perspect 114:1344-1347.
36. Fischer P.H., Brunekreef B., Lebret E. (2004). *Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands*. Atmos Environ 38:1083-1085.
37. Solberg S., Hov Ø., Søvde A., Isaksen I.S.A., Coddeville P., De Backer H., Forster C., Orsolini Y., Uhse K. (2005). *European surface ozone in the extreme summer 2003*. J Geophys Res 113, D07307.
38. Beniston M. (2004). *The 2003 heat wave in Europe: a shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations*. Geophys Res Lett 31, L02202.
39. Huszar P., Juda-Rezler K., Halenka T., Chervenkov H., Syrakov D., Krüger B.C., Zanis P., Melas D., Katragkou E., Reizer M., Trapp W., Belda M. (2011). *Effects of climate change on ozone and particulate matter over Central and Eastern Europe*. Clim Res 50:51-68.
40. Knowlton K., Rosenthal J.E., Hogrefe C., Lynn B., Gaffin S., Goldberg R., Rosenzweig C., Civerolo K., Ku J-Y., Kinney P.L. (2004). *Assessing ozone-related health impacts under a changing climate*. Environ Health Persp 15:1557-1563.
41. Oke T.R. (2006). *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and observing methods report*. World Meteorological Organization, Geneva, 81.
42. Państwowy Monitoring Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska (2016). *Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2016*. Warszawa, 139.
43. Borkowski T., Tarnapowicz D., Nicewicz G. (2012). *Ships mooring in the port as a threat to our natural environment*. Management Systems in Production Engineering 2(6):22-27.
44. Silva P. J., Vawdrey E. L., Corbett M., Erupe M. (2007). *Fine particle concentrations and composition during wintertime inversions in Logan, Utah, USA*. Atmos Environ 41:5410-5422.
45. İçağa Y., Sabah E. (2009). *Statistical analysis of air pollutants and meteorological parameters in Afyon, Turkey*. Environ Model Asses 14:259-266.
46. Olofson K. F. G., Andersson P.U., Hallquist M., Jungström E., Tang L., Chen D., Pettersson J.B.C. (2009). *Urban aerosol evolution and particle formation during wintertime temperature inversions*. Atmos Environ 43(2):340-346.
47. Ramírez-Sánchez H. U., García-Guadalupe M. E., Ulloa-Gódinez H. H., García-Concepción O., Gutierrez J. A., Brito S. J. L. (2013). *Temperature inversions, meteorological variables and air pollutants and their influence on acute respiratory disease in the Guadalajara Metropolitan Zone, Jalisco, Mexico*. J Environ Prot 4 (8A):142-153.
48. Nidzgorska-Lencewicz J., Czarnecka M. (2015). *Winter weather conditions vs. air quality in Tricity, Poland*. Theor Appl Climatol 119 (3-4):611-627.
49. Palarz A., Celiński-Mysław D. (2017). *The effect of temperature inversions on the particulate matter PM<sub>10</sub> and sulfur dioxide concentrations in selected basins in the Polish Carpathians*. Carpath J Earth Env 12(2): 629-640.
50. Fortuniak K. (2003). *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 233.
51. Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. M. (2014). *Miejska wyspa ciepła w Warszawie: uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Wyd. Akad. SEDNO.



52. Sarrat C., Lemonsu A., Masson V., Guedalia D. (2006). *Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution*. Atmos Environ 40:1743-1758.
53. Poupkou A., Nasto P., Melas D. Christos Zerefos C. (2011). *Climatology of Discomfort Index and Air Quality Index in a Large Urban Mediterranean Agglomeration*. Water Air Soil Pollut 222:163-183.
54. Ul-Saufie A.Z., Yahaya A.S., Ramli N.A., Rosaida N., Hamid H.A. (2013). *Future daily PM<sub>10</sub> concentrations prediction by combining regression models and feedforward backpropagation models with principle component analysis (PCA)*. Atmos Environ 77:621-630.
55. Sayegh A.S., Munir S., Habeebullah T.M. (2014). *Comparing the performance of statistical models for predicting PM<sub>10</sub> concentrations*. Aerosol Air Qual Res 14:653–665.
56. Taşpınar F., Bozkurt Z. (2014). *Application of artificial neural networks and regression models in the prediction of daily maximum PM<sub>10</sub> concentration in Düzce, Turkey*. Fresen Environ Bull 23:2450 – 2459.
57. Taşpınar F. (2015). *Improving artificial neural network model predictions of daily average PM<sub>10</sub> concentrations by applying principle component analysis and implementing seasonal models*. J Air Waste Manage 65(7):800-809.
58. Shahraiyni H.T., Sodoudi S. (2016). *Statistical modeling approaches for PM<sub>10</sub> prediction in urban areas, a review of 21<sup>st</sup>- century studies*. Atmosphere 7:15.
59. Whalley J., Zandi S. (2016). *Particulate matter sampling techniques and data modelling methods*. chapter 2: Air Quality - Measurement and Modeling. INTECH, 29-54.
60. Qiao J., Cai J., Han H., Cai J. (2017). *Predicting PM<sub>2.5</sub> concentrations at a regional background station using second order self-organizing fuzzy neural network*. Atmosphere 8:10-17.
61. Grivas G., Chaloulakou A. (2006). *Artificial neural network models for prediction of PM<sub>10</sub> hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece*. Atmos Environ 40: 1216–1229.
62. Yan Chan K., Jian L. (2013). *Identification of significant factors for air pollution levels using a neural network based knowledge discovery system*. Neurocomputing 99:564–569.
63. Hanna S., Chang J. (2012). *Acceptance criteria for urban dispersion model evaluation*. Meteorol Atmos Phys 116:133–146.
64. Papanastasiou D. K., Melas D., Bartzanas T., Kittas C. (2010). *Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze*. Int J Biometeorol 54:307–317.
65. Theoharatos G., Pantavou K., Mavrakis A., Spanou A., Katavoutas G., Efstathiou P., Mpekas P., Asimakopoulos D. (2010). *Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects*. Environ Res 110:152–161.
66. Błażejczyk K., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B. (2010). *UTCI - new index for assessment of heat stress in man*. Przegląd Geograficzny 82(1):49-71.
67. Fiala D., Havenith G., Bröde P., Kampmann B., Jendritzky G. (2011). *UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation*. Int J Biometeorol 56 (3):429-41.
68. Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G. (2012). *Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)*. Int J Biometeorol 56:481–494.
69. Jendritzky G., de Dear R., Havenith G. (2012) *UTCI - Why another thermal index?* Int J Biometeorol 56:421-428.
70. Baranowska M., Boniecka-Żóćcik A., Gurba H. (1986). *Weryfikacja skali klimatu odczuwalnego dla Polski*. Przegląd Geograficzny 1:27-40.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Moja działalność naukowa jest związana z tematyką badań realizowanych w Katedrze i koncentruje się głównie wokół następujących problemów:

1. Warunki termiczne i wilgotnościowe gleby
2. Czasowa i przestrzenna zmienność głównych elementów klimatu w Polsce
3. Klimat i bioklimat miast
4. Zmienność zanieczyszczeń powietrza oraz efektywność elementów meteorologicznych w ich rozprzestrzenianiu się (tematyka zgodna z prezentowaną w rozprawie habilitacyjnej)

### Ad.1.

#### Warunki termiczne i wilgotnościowe gleby

W początkach mojej działalności badawczej skupiałam się przede wszystkim na zagadnieniach dotyczących wilgotności gleby, co wynikało bezpośrednio z tematu realizowanej rozprawy doktorskiej. Wilgotność gleby jest najbardziej kompleksowym wskaźnikiem agrometeorologicznym, odzwierciedlającym wpływ warunków pogodowych na wzrost, rozwój i plonowanie roślin, a niestety nigdy nie była przedmiotem standardowych pomiarów w ramach sieci IMGW-PIB. Przez wiele lat jedynym źródłem informacji o tym elemencie klimatu gleby były wyniki wizualnej i organoleptycznej oceny uwilgotnienia wierzchniej warstwy gleby pod uprawami ozimin i ziemniaków, klasyfikowane do trzech kategorii wilgotności: nadmiernej, dostatecznej i niedostatecznej, publikowane w okresie 1965-1994 w postaci map w Dekadowych Biuletynach Agrometeorologicznych. Bezpośrednie pomiary wilgotności gleby wykonywane były (i są nadal) zaledwie na kilku uczelnianych stacjach agrometeorologicznych. Jedną z nich jest stacja agrometeorologiczna w Lipniku koło Stargardu, funkcjonująca w ramach Rolniczej Stacji Doświadczalnej ZUT w Szczecinie, na której pomiary wilgotności gleby nieporośniętej oraz pod uprawami żyta i ziemniaka, wykonywane metodą suszarkowo-wagową prowadzone były w okresie wegetacyjnym co dekadę od 1961. Ta wieloletnia seria pomiarów dekadowych w połączeniu z wynikami prowadzonych równolegle pomiarów meteorologicznych stanowiła podstawę mojej rozprawy doktorskiej oraz opublikowanych prac z zakresu tej tematyki (**D.a.2<sup>1</sup>**, **D.a.5**, **D.a.13**). O ile zmiany wilgotności gleby nieporośniętej odzwierciedlają głównie przebieg warunków atmosferycznych, to wilgotność w glebie porośniętej uwarunkowana jest nie tylko przebiegiem pogody, ale również gatunkiem i fazą rozwojową uprawianej rośliny. Wykazano, że różnice pomiędzy wilgotnością gleby pod uprawami żyta i ziemniaka a glebą nieporośniętą są prawie na wszystkich analizowanych głębokościach (5, 10, 20, 30, 50, 70 i 100 cm) statystycznie istotne, przy czym największe uwidaczniają się na głębokości 50 cm. Pod żytem i ziemniakiem okres przeciętnie najmniejszej wilgotności gleby przypada na ich okresy krytyczne obejmujące odpowiednio fenofazy: kwitnienie – zbiór i kwitnienie – zasychanie łęgów. Stwierdzono statystycznie istotny trend spadku wilgotności gleby nieporośniętej w warstwie od 0 do 30 cm, we wszystkich miesiącach od kwietnia do września (największy

<sup>1</sup> numery tej i kolejnych publikacji według spisu zamieszczonego w załączniku 3 punkt II

w maju), podczas gdy pod uprawami żyta i ziemniaka, tylko w pierwszej części ich okresów rozwojowych, od kwietnia do czerwca (**D.a.5**). W przypadku żyta największa zmienność dekadowych zasobów wody z roku na rok występuje w fazie dojrzałość woskowa a najmniejsza w fazie strzelania w źdźbło (**D.a.2**).

Przeprowadzone w latach 1998, 1999 a także 2001-2004 automatyczne (czujniki Theta Probe firmy Delta-T) ciągłe pomiary wilgotności gleby na stacji umożliwiły dokładniejszą (w ujęciu doby) ocenę zmienności tego elementu. Wyniki tych pomiarów w połączeniu z danymi z automatycznej stacji meteorologicznej zainstalowanej obok poletek doświadczalnych posłużyły również do określenia roli warunków pogodowych w kształtowaniu wilgotności gleby w okresie wegetacyjnym (**D.a.4**, **D.a.8**, **D.a.11**) oraz w okresie zimowym podczas którego następuje odtworzenie zużytych w okresie wegetacji zasobów wodnych gleby (**D.a.9**). Stwierdzono, że warunki meteorologiczne w większym stopniu determinowały wilgotność gleby pod uprawą żyta niż ziemniaka, najsilniej wpływając na jej dobową zmienność odpowiednio w fenofazach: kwitnienie – dojrzałość mleczna oraz wschody – kwitnienie (**D.a.11**). Generalnie wykazano, że wilgotność gleby w warstwie do głębokości 10 cm, zarówno pod uprawą żyta jak i ziemniaka, kształtują głównie sumy opadów. Natomiast wilgotność w głębszych warstwach gleby pod uprawą żyta zależy przede wszystkim od warunków wilgotnościowych powietrza, a pod uprawą ziemniaka – od warunków termicznych powietrza i gleby (**D.a.8**). W przypadku uprawy ziemniaka dobowe opady do około 5 mm zmieniały z reguły stan uwilgotnienia tylko do głębokości 5 cm, a jeśli występowały w ciągach kilkudniowych, to do głębokości 10 cm, z kolei opady od 5 do 10 mm powodowały wzrost uwilgotnienia pod ziemniakiem na głębokościach 20 i 30 cm, a występujące w ciągach dni – nawet do głębokości 50 cm (**D.a.4**). Interesujące wyniki uzyskano na podstawie serii pomiarowej z okresu listopad – marzec 2003/2004, których analiza wykazała, że w okresie zimowym podstawowe elementy meteorologiczne kształtują wilgotność gleby niemal wyłącznie w warstwie do głębokości 30 cm, przy czym największą rolę odgrywają warunki termiczne powietrza, a następnie warunki termiczne gleby. Stwierdzono, że wpływ warunków opadowych i wilgotnościowych powietrza na kształtowanie wilgotności gleby był około czterokrotnie mniejszy w porównaniu z warunkami termicznymi, a oddziaływanie opadów zaznaczyło się głównie w warstwie do głębokości 10 cm (**D.a.9**).

Uczestniczyłam także w badaniach, których celem było opracowanie modeli regresyjnych umożliwiających prognozowanie zasobów wody. W pracy **D.a.2** przedstawiono równania regresji, na podstawie których można określać dekadowe wielkości zasobów wody dla głębszych warstw w profilu gleby (31-100 cm) w oparciu o znane zasoby wody wierzchniej warstwy gleby (0-30 cm). Z kolei w pracy (**D.a.13**) wykazano, że na podstawie ogólnie dostępnych danych meteorologicznych (opady, temperatura powietrza i gleby, usłonecznienie, niedosyt wilgotności powietrza i prędkość wiatru), można z dużą

dokładnością prognozować zasoby wody użytecznej w glebie lekkiej pod uprawą żyta w kolejnych dekadach okresu wegetacyjnego.

Z typowo agrometeorologicznych badań, oprócz wilgotności gleby, zajmowałam się również zagadnieniami związanymi z temperaturą gleby. Tematykę tą podejmowałam we współpracy z prof. dr hab. Bożeną Michalską. Temperatura gleby znacząco wpływa na aktywność procesów fizykochemicznych i biologicznych, dlatego szczegółowe rozpoznanie jej zmienności jest niezbędne dla potrzeb optymalizacji efektywności zabiegów agrotechnicznych. Wcześniejsze opracowania bazujące na klasycznych pomiarach temperatury gruntu termometrami kolankowymi (odczyty o 6<sup>00</sup>, 12<sup>00</sup> i 18<sup>00</sup> UTC) umożliwiały śledzenie zmian zachodzących wyłącznie w ciągu dnia. Natomiast możliwości dokładniejszego monitoringu temperatury gleby, obejmujące również porę nocną, pojawiły się dopiero w momencie wprowadzenia pomiarów automatycznych. W moich badaniach podstawę, umożliwiającą opracowanie tego elementu, stanowiły wyniki automatycznych pomiarów temperatury gleby nieporośniętej i pod uprawą żyta ze stacji agrometeorologicznej w Lipniku (serie 2 i 5-letnie) oraz wyniki z gleby porośniętej trawnikiem ze stacji meteorologicznej w Ostoi (seria roczna) działającej przy Ośrodku Szkoleniowo-Badawczym w Zakresie Energii Odnawialnej ZUT w Szczecinie. Oprócz szczegółowej (w różnej długości ujęciach czasowych) charakterystyki temperatury gleby na obu stacjach, na czterech standardowych głębokościach: 5, 10, 20 i 50, przeprowadzonej za pomocą klasycznych miar statystycznych tj. wartości średnich, ekstremalnych i odchylenia standardowego, określono również terminy zmiany kierunku strumienia cieplnego. W przypadku Ostoi oceniono również wpływ pokrywy śnieżnej i opadu atmosferycznego na pionowy rozkład temperatury w glebie w wybranych dniach. Dla obu stacji, miesięczną zmienność temperatury gleby w profilu 5-50 cm w ciągu 24 godzin zobrazowano w postaci termoizoplet (**D.a.14**, **D.a.19**). Analizowano również związek poszczególnych elementów meteorologicznych z temperaturą gruntu, wykazując najściślej korelację z temperaturą powietrza z 200 cm n.p.g., a następnie z niedosytem wilgotności i parowaniem wskaźnikowym. Ponadto, stwierdzono, że zachodząca ścisła zależność między temperaturą gleby nieporośniętej i pod żytem daje możliwość określania temperatury gleby pod żytem na różnych głębokościach na podstawie standardowych pomiarów temperatury gleby nieporośniętej, przy błędzie estymacji nieprzekraczającym 0,7°C (**D.a.7**). W pracy (**D.a.18**) podjęto próbę szacowania temperatury gleby nieporośniętej na podstawie wyłącznie temperatury powietrza ujętej w siedmiu różnych kombinacjach. Stwierdzono, że największymi możliwościami predykcji dobowej temperatury gleby w profilu do 50 cm, odznacza się temperatura powietrza będącą średnią z 24 codziennych pomiarów. Średnie bezwzględne różnice między rzeczywistą temperaturą gleby a obliczoną z równań dla tego związku wahały się, w poszczególnych miesiącach od 1,3°C na głębokości 5 cm do 0,5°C na głębokości 50 cm.

Przetwarzanie danych automatycznych jest zagadnieniem bardzo istotnym z punktu widzenia zachowania jednorodności wieloletnich ciągów pomiarowych. Zastępowanie tradycyjnych pomiarów manualnych pomiarami automatycznymi było inspiracją do podjęcia badań o charakterze metodycznym, ukierunkowanych na ocenę sposobu uśredniania wyników automatycznych pomiarów temperatury powietrza i gleby (**D.a.28**). Porównywano wartości godzinne będące średnią arytmetyczną z 60 pomiarów z wartościami chwilowymi z odczytów o pełnych godzinach. Dwa sposoby pozyskiwania wartości godzinnych temperatury powietrza i gleby wskazały na istotne różnice uzyskanych wyników, zwłaszcza w odniesieniu do temperatury powietrza wiosną i latem. W układzie rocznym tylko 20% wyników pomiarów temperatury powietrza wykazywało brak różnic, w przypadku temperatury gleby udział jednakowych wyników wzrastał w miarę wzrostu głębokości warstwy gleby, przekraczając 90% na poziomie 50 cm.

Badania realizowane w ramach omawianej problematyki **Warunki termiczne i wilgotnościowe gleby** stanowią treści **12** oryginalnych prac autorskich i współautorskich, a ponadto **4** streszczeń posterów w materiałach konferencyjnych – łącznie **16** pozycji.

## **Ad.2.**

### **Czasowa i przestrzenna zmienność głównych elementów klimatu w Polsce**

Położenie Polski w strefie przejściowej klimatu umiarkowanie ciepłego decyduje o dużej zmienności warunków pogodowych w naszym kraju. Bardzo liczna grupa moich publikacji dotyczy studiów związanych ze zmiennością wybranych elementów meteorologicznych rozpatrywanych w różnych ujęciach przestrzennych i czasowych. Tematykę tą realizowałam przede wszystkim we współpracy z prof. dr hab. Małgorzatą Czarnecką. W ramach szeroko pojętej problematyki klimatologicznej zajmowałam się zagadnieniami charakteryzującymi:

- **warunki termiczne powietrza (w tym odwilże atmosferyczne, termiczne pory roku – w szczególności termiczna zima) – D.a.10, D.a.15, D.a.20, D.a.21, D.a.29, D.a.30, D.a.34, D.a.35**
- **warunki opadowe – D.a.27, A.4, A.6**
- **warunki anemometryczne – D.a.1, D.a.3, D.a.6, D.a.12**

W badaniach z zakresu omawianego wątku najwięcej prac poświęcono warunkom termicznym powietrza, co wpisuje się w podejmowaną powszechnie problematykę zmian klimatu. Wzrost temperatury powietrza jest empirycznym faktem i został potwierdzony w kolejnym, piątym już Raporcie Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu a niepewności ocen dotyczących zmian klimatu i ich konsekwencji są tak duże, że niezbędne jest prowadzenie dalszych intensywnych badań w tym zakresie. Przejawy współczesnego ocieplenia to zmiany nie tylko w trendzie temperatury powietrza, ale także zmiany czasu trwania termicznych pór roku i dni charakterystycznych odzwierciedlających reżim termiczny. Zmienność warunków pogodowych, jako charakterystyczna cecha klimatu Polski,

zaznacza się szczególnie wyraźnie w chłodnej porze roku. Stąd nieprzypadkowo, przedmiotem moich zainteresowań był okres termicznej zimy oraz zjawisko odwilży atmosferycznej rozpatrywanej również w powiązaniu z odwilżą glebową.

Charakterystykę warunków termicznych podejmowałam w różnych ujęciach przestrzennych, od skali krajowej (**D.a.21, D.a.29, D.a.34, D.a.35**) poprzez regionalną (**D.a.32**) do lokalnej (**D.a.10, D.a.15, D.a.20**). W opracowaniach w skali kraju wykorzystano wieloletnie serie pomiarowe (od 45 do 55 lat) pochodzące ze standardowych pomiarów prowadzonych na stacjach IMGW-PIB. W opracowaniach o charakterze lokalnym wykorzystano dane ze stacji meteorologicznych należących do uczelni i zlokalizowanych w Lipniku, Ostoi oraz w Ogrodzie Dendrologicznym w Glinnej. W zależności od czasu uruchomienia stacji były to serie wieloletnie (dla Lipnika) lub krótsze pochodzące z pomiarów automatycznych: roczna i 2-letnia.

W ramach badań dotyczących zmienności warunków termicznych wykazano m.in.:

- znaczące różnice w czasie trwania zimy termicznej w zależności od metody jej wyznaczenia – termiczna zima wyznaczona na podstawie średniej miesięcznej temperatury powietrza jest od jednego do niemal dwóch miesięcy krótsza od potencjalnego okresu występowania dni zimowych, przy czym długość termicznej zimy wyznaczana w sposób klasyczny we wschodniej części kraju jest „zawyżona”, natomiast w części zachodniej odwrotnie – jest „zaniziona” w porównaniu do rzeczywistej liczby dni zimowych – **D.a.21**,
- brak statystycznie istotnych zmian terminów początku i końca termicznej zimy oraz okresu zimowego w ujęciu całej Polski, mimo stwierdzonego najsilniejszego wzrostu temperatury w chłodnej porze roku – **D.a.34**,
- zróżnicowanie czasu trwania termicznej zimy na obszarze trzech wyodrębnionych regionów: zachodniego, środkowego i wschodniego; średnia miesięczna temperatura powietrza, jako najczęściej stosowane w Polsce kryterium wyznaczania termicznej zimy, najlepiej odzwierciedla jej długość w regionie środkowym, natomiast w regionach zachodnim i wschodnim do wyznaczania termicznej zimy należałoby stosować średnie dobowe wartości temperatury – **D.a.35**,
- czasową i przestrzenną zmienność odwilży atmosferycznych w Polsce; odwilże atmosferyczne pojawiają się już w około 10 dni po pierwszym, co najmniej trzydniowym spadku temperatury poniżej 0°C; są stałym elementem klimatu Polski, gdyż występują w 30 do 45% dni kalendarzowej zimy (XII-II) i od 35 do blisko 50% dni potencjalnego okresu termicznej zimy - **D.a.29**,
- porównywalny, statystyczny opis intensywności odwilży glebowej na głębokościach 5, 10 i 20 cm uzyskany na podstawie odwilży atmosferycznej, wyznaczonej zarówno na podstawie średniej dobowej jak i maksymalnej temperatury powietrza - **D.a.10**,
- zmiany w występowaniu termicznych pór roku w centralnej części Niziny Szczecińskiej (na przykładzie Lipnika); statystycznie istotne skracanie się zimy a wydłużanie lata oraz coraz wcześniejsze pojawiania się przedwiośnia, wiosny oraz lata a późniejsze jesieni – **D.a.15**,

- większą kontrastowość termiczną terenu podmiejskiego (Ostoja), wyrażoną częstością zmian międzydobowych i międzygodzinnych, w porównaniu z terenem rolniczym (Lipnik) – **D.a.20**,

- po raz pierwszy w historii istnienia Ogrodu Dendrologicznego w Glinnej (rok założenia 1880) za sprawą danych pomiarowych, wyraźnie zaznaczające się w obrębie całego mezoregionu Pobrzeża Szczecińskiego termiczne uprzywilejowanie przedmiotowego arboretum - **D.a.32**.

Inspiracją rozpoczęcia badań z zakresu czasowej i przestrzennej zmienności opadów atmosferycznych były opinie o ich rosnącej zmienności i ekstremalności. Na podstawie 60 letnich (1951-2010) serii pomiarowych z 38 stacji meteorologicznych IMGW-PIB została podjęta próba weryfikacji tych poglądów dla wybranych cech sezonowych opadów atmosferycznych w Polsce. Oprócz szczegółowej charakterystyki pluwialnej, w tym ujawnienie pewnych trendów regionalnych, wykazano, że wieloletnie zmiany wysokości sezonowych opadów atmosferycznych nie wykazują statystycznie istotnego trendu liniowego. Poza tym, współczynnik nieregularności opadów i współczynnik zmienności także nie wykazują istotnych zmian wieloletnich. Faktem jest natomiast powszechna tendencja (nieistotna statystycznie) wzrostu opadów wiosną i jesienią oraz malejący udział opadów letnich w sumie rocznej. Ponadto, wykazano niewielki wzrost kontynentalizmu pluwialnego, głównie w południowo-wschodniej części Polski, a jego osłabienie – na Pojezierzu Mazurskim i w zachodniej części Niziny Wielkopolskiej (**D.a.27**). Jak dotąd, spośród wszystkich moich prac, wyniki zawarte właśnie w tej pracy są najczęściej cytowane przez innych autorów. Mając na uwadze nieistotne trendy liniowe i niejednoznaczne projekcje zmian wielkości opadów atmosferycznych w warunkach postępującego ocieplenia, a także ich czasową i obszarową zmienność wykazaną w ujęciu całego kraju (**D.a.27**) podjęto również próbę identyfikacji okresowych wahań (za pomocą analizy widmowej) w wieloletnim przebiegu sezonowych sum opadów przeprowadzoną dla Pomorza (**A.4**) oraz całego kraju (**A.6**).

Okres rozpoczęcia przeze mnie studiów doktoranckich zbiegł się w czasie z pracami prowadzonymi w Katedrze nad „Atlasem klimatycznego ryzyka uprawy roślin w Polsce”. Moje pierwsze badania naukowe podjęte we współpracy z prof. dr hab. Koźmińskim i z prof. dr hab. Michalską dotyczyły charakterystyki warunków anemometrycznych za okres 1951 - 1965 dla 19 stacji IMGW-PIB. Treścią planszy tematycznej, która została umieszczona we wspomnianym atlasie są mapy przedstawiające kierunek wiatru w ujęciu poszczególnych miesięcy oraz średnie roczne prędkości z trzech terminów obserwacji (7.00, 13.00, 19.00) – **D.a.1**. Z kolei, mapa ilustrująca zmienność kierunku wiatru na 23 stacjach w skali roku stanowi integralną część mapy ściennej „Klimat Polski” pod red. C. Koźmińskiego. Na mapie znajdują się też diagramy, obrazujące dla wybranych stacji: prędkość wiatru, liczbę dni z prędkością  $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz liczbę dni z ciszą (**D.a.3**). Szczegółowa charakterystyka kierunku i prędkości wiatru została przeprowadzona ponownie w ujęciu regionalnym, w wydłużonym wieloleciu (lata 1950-2000) na potrzeby „Atlasu zasobów i zagrożeń klimatycznych

Pomorza". Współautorska plansza zawiera mapy przedstawiające zmienność kierunków wiatru w półroczach ciepłym i chłodnym oraz sezonowe prędkości wiatru, a dla wybranych stacji – także diagramy z rozkładem średnich miesięcznych prędkości wiatru, średnią liczbą dni z wiatrem o prędkości  $>10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz przebieg sezonowych prędkości wiatru w poszczególnych latach okresu 1950-2000 (**D.a.6**). Pod nieco innym kątem scharakteryzowano wiatr w pracy **D.a.12**, w której element ten rozpatrywany był jako ważny czynnik wywołujący ruchy turbulencyjne, decydujące o intensywności i zasięgu mieszania pionowego w atmosferze. Stwierdzono, że w warunkach analizowanej stacji (Lipnik) reprezentującej otwarty teren rolniczy, dominującą klasą była turbulencja słaba - w ciągu roku jej częstość osiągała prawie 70%, a w czasie kalendarzowego lata, nawet około 85%. Szczegółowa analiza pozwoliła wskazać również sezony i okresy w ciągu doby o najlepszych i najgorszych warunkach naturalnej wentylacji.

Ogółem problematyka z zakresu **Czasowej i przestrzennej zmienności głównych elementów klimatu w Polsce** była tematyką **15** oryginalnych prac, z których **3** stanowią plansze w atlasach (2) oraz na mapie ściennej (1). Inne formy prezentacji wyników to **5** referatów oraz **11** posterów, z których **13** ukazało się w postaci streszczeń. Omówiona tematyka stanowiła treść **28** publikacji.

### **Ad.3.**

#### **Klimat i bioklimat miast**

Nurt badawczy związany z klimatem i bioklimatem miast rozwijam od 2011 roku, głównie we współpracy z dr inż. Agnieszką Mąkoszą. Większość badań z tego zakresu dotyczy Szczecina. Możliwości oceny zróżnicowania przestrzennego klimatu i bioklimatu tego miasta pojawiły się wraz z uruchomieniem systemu automatycznych pomiarów meteorologicznych, w ramach monitoringu jakości powietrza, prowadzonych przez WIOŚ w Szczecinie od 2005 roku w trzech różnych lokalizacjach (stacje przy ulicach: Andrzejewskiego, Piłsudskiego, Łącznej). Wyniki pomiarów były podstawą 4 oryginalnych prac (**A.1**, **D.a.25**, **D.a.26**, **D.a.33**) – i są to jedne z nielicznych opracowań ukazujących przestrzenną zmienność warunków anemometrycznych, termicznych oraz biometeorologicznych w Szczecinie. Szczegółowe rozpoznanie warunków klimatycznych i bioklimatycznych w skali lokalnej, zwłaszcza w obrębie zabudowy miejskiej, może być postawą rozwiązań praktycznych, np. konkretnych rozwiązań planistycznych, zmierzających do poprawy warunków biotermicznych i aerosanitarnych, które podlegają największym zmianom.

Na obszarach silnie zurbanizowanych dochodzi do znacznych modyfikacji w środowisku atmosferycznym. Modyfikacje jakim na obszarach miejskich podlegają takie elementy meteorologiczne jak: promieniowanie słoneczne, zachmurzenie, widzialność, wilgotność powietrza, opady atmosferyczne, kierunek i prędkość wiatru, zostały przedstawione na podstawie przeglądu literatury i zilustrowane autorskimi rycinami w pracy o charakterze popularno-naukowym (**D.a.31**). Dodatkowo w przywołanej pracy scharakteryzowano miejską



wyspę ciepła (UHI) oraz zanieczyszczenia powietrza jako najbardziej znane i najlepiej udokumentowane cechy klimatu obszarów zurbanizowanych.

Jednym z wyraźniejszych przejawów odrębności mezoklimatu miasta jest silna modyfikacja przepływu powietrza wywołana zwiększoną szorstkością aerodynamiczną podłoża. Na przykładzie Szczecina potwierdzono, że największymi deformacjami prędkości oraz kierunku wiatru, w porównaniu do terenu niezabudowanego, charakteryzuje się rejon zwartej zabudowy w centrum miasta (**D.a.26**). Modyfikacja warunków termicznych, wilgotnościowych i anemometrycznych na obszarze miasta znajduje swoje odzwierciedlenie w wyraźnym zróżnicowaniu warunków odczuwalnych. Spośród elementów meteorologicznych temperatura powietrza jest bodźcem fizycznym najbardziej odczuwalnym przez organizm człowieka, przede wszystkim w sytuacjach dużych jej wahań występujących w krótkim czasie. Wykazano, że skrajne warunki odczuwalności cieplnej (średnia dobowa powyżej 20°C), najczęściej występują na obszarze zwartej zabudowy w centrum miasta (**D.a.25**). Podobnie analiza wartości wskaźników odczuć cieplnych (ang. Effective Temperature - ET) oraz obciążeń cieplnych (ang. Heat Load - HL), wskazuje na wyraźne, zarówno przestrzenne, jak i czasowe zróżnicowanie warunków bioklimatycznych w Szczecinie. Przykładowo, wykazano, że najbardziej obciążające warunki według wskaźnika ET kształtowane przez odczucia *gorąco* i *bardzo gorąco* panują w centrum miasta (**A.1**). Z kolei, najbardziej niesprzyjające warunki biotermiczne według wartości HL silnie obciążające układ termoregulacyjny człowieka, przede wszystkim *dużym* i *bardzo dużym stresem zimna*, występują tylko w 10% dni w roku w centrum miasta i aż w 27% dni na jego północnych przedmieściach (**D.a.33**).

Poza Szczecinem, w szerszym ujęciu przestrzennym, oceniono warunki bioklimatyczne strefy polskiego wybrzeża Bałtyku w ciepłej połowie roku (dane z okresu 2001-2010). Za pomocą wskaźnika kontrastowości warunków bioklimatycznych (ang. Bioclimatic Contrast Index - BCI) został określony stres aklimatyzacyjny z jakim należy się liczyć w przypadku nagłej zmiany warunków pogodowych i zmiany miejsca pobytu z zachodu na wschód, wzdłuż linii: Świnoujście, Ustka, Gdańsk, Hel (**D.a.30**).

Ostatnią opublikowaną pracą z zakresu tej tematyki jest pozycja o charakterze przeglądowym, wzbogacona autorskimi rycinami, przedstawiająca warunki biotermiczne wybranych miast Polski w oparciu o występowanie tzw. dni i nocy charakterystycznych oraz obciążeń cieplnych określonych na podstawie najnowszego uniwersalnego wskaźnika *UTCI* (**D.a.36**).

Podsumowując, omawiana problematyka **Klimat i bioklimat miast** była przedmiotem 7 oryginalnych prac współautorskich (1 praca na liście A MNiSW) oraz stanowiła treści 2 referatów i 8 posterów, z czego 7 ukazało się w formie streszczeń – łącznie 14 pozycji opublikowanych. Dwa postery z zakresu tej tematyki zostały wyróżnione (załącznik 3 – pozycje **II.J.3**, **II.J.4**) na międzynarodowej konferencji „Climate Change, Economy, Law And Society - Interactions in the Baltic Sea Region”, która odbyła się w dniach 28-30 maja 2012 roku w Szczecinie.

**Ad.4.****Zmienność zanieczyszczeń powietrza oraz efektywność elementów meteorologicznych w ich rozprzestrzenianiu się**

Poza pracami przedstawionymi jako osiągnięcie naukowe, problematyka zanieczyszczeń powietrza rozpatrywanych oddzielnie bądź w powiązaniu z warunkami meteorologicznymi, była tematyką także innych prac. Jakość powietrza, od ponad 10 lat pozostaje w moim przypadku najważniejszą dziedziną badawczą a wyniki prac wykorzystuję w dydaktyce realizowanej na kierunku ochrona środowiska. Znaczący wpływ na ukształtowanie moich zainteresowań naukowo-badawczych w tym zakresie miała prof. dr hab. Małgorzata Czarnecka, która wcześniej była moim opiekunem naukowym a obecnie stała się najbliższym współpracownikiem naukowym oraz współautorką połowy moich publikacji.

Obszary zurbanizowane, w porównaniu z terenami wiejskimi, cechuje nie tylko wyższy poziom stężeń zanieczyszczeń, ale również odmienna, wyraźna struktura i cykliczna zmienność (w skali roku, sezonów, tygodnia, doby), która odzwierciedla rytm życia (pracy i wypoczynku) mieszkańców. Przedmiotem moich zainteresowań była zmienność głównych zanieczyszczeń komunikacyjnych ( $\text{NO}_x$  i CO) oraz ozonu troposferycznego w Szczecinie, którą przedstawiono w dwóch pracach (**D.a.17**, **D.a.24**). Wykazano, że w rozkładzie dobowym stężeń  $\text{NO}_x$  i CO zaznaczają się dwa okresy podwyższonej imisji, wyraźniejszy i krótszy poranny – przeważnie w godzinach od 8.00 do 11.00 i wieczorny - od 17.00 do 23.00 (wg czasu UTC). Z kolei w przebiegu dobowym  $\text{O}_3$ , zwłaszcza podczas wiosny i lata, występuje wyraźny wzrost stężeń, rozpoczynający się w godzinach rannych, z maksimum przypadającym na godziny od 15.00 do 18.00. Interesująca jest również struktura tygodniowa omawianych zanieczyszczeń – w przypadku  $\text{NO}_x$  w roboczych dniach tygodnia, w godzinach 8.00-11.00, stężenia w rejonach intensywnej komunikacji, w centrum Szczecina są co najmniej dwukrotnie, a przy głównej drodze wylotowej z miasta - nawet trzykrotnie większe niż w niedziele. W przypadku  $\text{O}_3$  w ciągu całego roku, poziom weekendowej imisji przewyższa stężenia zarejestrowane podczas dni roboczych.

Do ważnych prac wpisujących się w omawiany nurt badawczy zaliczam współautorską pracę, w której przeprowadzono regionalizację Polski wynikającą z zanieczyszczenia pyłem zawieszonym (**D.b.1**). Trzy regiony o podobnej zmienności stężeń pyłu zawieszzonego wydzielono przy zastosowaniu analizy skupień (metoda k-średnich), na podstawie danych z 33 stacji imisyjnych. Wyodrębnione regiony różnią się wyraźnie wielkością średnich zimowych stężeń obu frakcji pyłu ( $\text{PM}_{10}$  oraz  $\text{PM}_{2,5}$ ) oraz częstością przekroczeń normy dobowej w przypadku  $\text{PM}_{10}$ . Uzyskane wyniki należy uznać za reprezentatywne, ze względu na fakt, że w ocenianych sezonach zimowych (łącznie 10 zim 2005/06 do 2014/15) z okresu znalazły się nie tylko zimy o przeciętnych warunkach termicznych, ale także bardzo ciepłe, jak i mroźne.

Kolejne prace z zakresu omawianej tematyki dotyczą wpływu podstawowych elementów i zjawisk meteorologicznych na stężenia  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$  oraz  $\text{SO}_2$

rozpatrywane w sezonach zimowym i letnim, bądź w wybranych miesiącach, przy czym przedmiotem analizy były różnej długości serie (**A.2, A.3, D.a.16, D.a.22, D.a.23, D.a.37**). Ponieważ, zagadnienie to było szczegółowo omawiane w zasadniczej części autoreferatu dotyczącej rozprawy habilitacyjnej, tutaj chciałabym przywołać nieco szerzej wyniki tylko jednej pozycji a mianowicie **D.a.22**, w której analizowano wpływ warunków opadowych (jako głównego czynnika tzw. „mokrej depozycji”) na stężenie  $PM_{10}$ . Na podstawie danych z 7 różnych miast Polski (stacje WIOŚ) wykazano, że średnie stężenia  $PM_{10}$  rejestrowane w seriach godzin i dni z opadem były w zależności od pory roku i doby, od około 10 do 35% mniejsze w porównaniu do stężeń rejestrowanych przed wystąpieniem zjawiska a najwyższe dobowe stężenia (powyżej  $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) występowały prawie wyłącznie w sytuacjach bez opadu. Najmniejszą efektywnością charakteryzowały się opady w okresie letnim, ale w przeciwieństwie do pozostałych pór roku, ich pozytywny skutek w zmniejszeniu imisji pyłu, zaznaczał się także jeszcze następnego dnia po opadzie. W skali całego roku do największego obniżenia przeciętnej imisji  $PM_{10}$  przyczyniały się opady o sumach od 8 do 20 mm, występujące zarówno w pojedynczych dniach, jak i w ciągach kolejnych dni, a ze względu na czas trwania opady występujące w okresach czterodniowych, niezależnie od ich wysokości. Warto podkreślić, że złożoność przyczyn kształtujących proces wymywania zanieczyszczeń oraz bardzo duża zmienność imisji, jak i zmienność i nieciągłość opadów sprawia, że ilościowa ocena efektywności opadów jest bardzo trudna i rzadko podejmowana w badaniach, co tym bardziej upoważnia do uznania otrzymanych wyników za oryginalne.

Wyniki trzech prac (załącznik 3, pozycje **I.B.4, I.B.6, II.A.3**), w których udowodniono rolę inwersji temperatury w wyjaśnianiu zmienności stężeń  $PM_{10}$  i  $SO_2$  skłoniły do podjęcia oceny czasowej struktury zmienności zjawiska (**A.5**). Wyniki sondaży aerologicznych z Łeby, z okresu 10 lat (2005 - 2014) posłużyły do charakterystyki inwersji przypowierzchniowych oraz wzniesionych w warstwie atmosfery do 3000 m. Szczegółową analizę obejmującą miesięczną oraz sezonową zmienność parametrów inwersji termicznych (intensywność, miąższość, wysokość podstawy) rozpatrywaną oddzielnie dla pory nocnej (00 UTC) i dziennej (12 UTC) zilustrowano 16 rysunkami i 2 tabelami. Podkreślenia wymaga fakt, że w literaturze przedmiotu, niewiele jest pozycji podejmującej tak szczegółową charakterystykę inwersji termicznych, a tymczasem jest to bardzo ważny element determinujący dyspersję zanieczyszczeń powietrza.

Reasumując – przedstawiona powyżej problematyka była przedmiotem **10** opublikowanych, oryginalnych prac naukowych (w tym **3** z listy A MNiSW) oraz **18** streszczeń, będących pokłosiem czynnego udziału w konferencjach (**6** referatów oraz **14** posterów).

Poza opisanymi osiągnięciami w działalności naukowo-badawczej, chciałabym przywołać jeszcze jeden wątek odbiegający tematycznie od omówionych. W bieżącym roku w ramach podjętej współpracy z Instytutem Kultury Fizycznej z Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy zostały przeprowadzone badania, których celem była ocena wykorzystania i przydatności portali pogodowych w szeroko rozumianej aktywności fizycznej

związanej ze sportem oraz turystyką i rekreacją. Badania przeprowadzono w styczniu 2018 roku na grupie 198 respondentów, studentach trzech polskich uczelni (Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Uniwersytet Wrocławski). Otrzymane wyniki były przedmiotem referatu na międzynarodowej konferencji, która odbyła się w dniach 14-18 marca br. w Grecji (załącznik 3 - **II.K.15**). Aktualnie w recenzji znajduje się streszczenie pokonferencyjne, które w przypadku pozytywnych recenzji ukaże się w czasopiśmie indeksowanym w Web of Science.

## 6. Zestawienie całego dorobku naukowo – badawczego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje łącznie **94** pozycje, w tym **48** oryginalnych prac twórczych i rozdziałów w monografiach, **3** plansze dotyczące warunków anemometrycznych (2 w atlasach, 1 na mapie ściennej), **42** abstrakty konferencyjne oraz **1** ekspertyzę. Spośród **51** prac naukowych **26** napisanych jest w języku angielskim, z czego **13** ukazało się w czasopismach posiadających Impact Factor. Na mój dorobek składa się **5** indywidualnych prac oryginalnych oraz **46** współautorskich przy udziale własnym **53,8%**. W grupie prac współautorskich **34** powstały w zespołach 2-osobowych, **11** – 3-osobowych i tylko **1** praca liczy 4 autorów.

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora na mój dorobek składało się **7** opublikowanych prac naukowych, w tym **3** plansze oraz **2** streszczenia konferencyjne.

Po uzyskaniu stopnia doktora mój dorobek naukowo-badawczy powiększył się o **44** oryginalne prace twórcze (**13** artykułów z listy JCR) w tym **2** artykuły o charakterze przeglądowym, **1** popularno-naukowy i **1** metodyczny oraz **40** streszczeń konferencyjnych (w tym 10 po angielsku).

Łączna kwantyfikacja dotychczas opublikowanych wszystkich prac wynosi **479** punktów, z czego udział własny to **257,3** punktów. Sumaryczny IF z roku publikacji dla **13** prac wynosi **15,836**, natomiast aktualny IF 5-letni to **19,768**.

**Tabela 1. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowego**

Rodzaj publikacji	Język	Przed doktoratem			Po doktoracie			łącznie
		autorskie	współaut.	łącznie	autorskie	współaut.	łącznie	
<b>Oryginalne prace twórcze</b>								
Czasopisma z IF	A				2	10	12	<b>12</b>
	AR					1	1	<b>1</b>
Prace oryginalne opublikowane w czasopismach recenzowanych	A					8	8	<b>8</b>
	P	1	3	4	2	16	18	<b>22</b>
Rozdziały w monografiach	A					1	1	<b>1</b>
	P					3	3	<b>3</b>
Publikacje konferencyjne w <i>Web of Science</i>	A					1	1	<b>1</b>
Plansze w atlasach, mapy	AP		3	3				<b>3</b>
<b>ŁĄCZNIE</b>		<b>1</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>40</b>	<b>44</b>	<b>51</b>
<b>Inne prace</b>								
Publikacje konferencyjne (abstrakty, streszczenia)	A				4	6	10	<b>10</b>
	P	1	1	2	3	27	30	<b>32</b>
Ekspertyzy	P					1	1	<b>1</b>
<b>ŁĄCZNIE</b>		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>43</b>
<b>ŁĄCZNIE WSZYSTKIE POZYCJE</b>								<b>94</b>

P – język polski, A – język angielski, R – język rosyjski

**Tabela 2. Zestawienie dorobku naukowego z uwzględnieniem oceny punktowej czasopism według list MNiSW oraz wartościami IF obowiązującymi w roku opublikowania<sup>1</sup>**

Nazwa czasopisma	Liczba prac		Suma punktów			
	Przed doktoratem	Po doktoracie	wg list MNiSW z roku publikacji	wg listy MNiSW z 2016 r.	IF z roku publikacji	IF 5-letni (aktualny)
<b>Czasopisma indeksowane w Journal Citation Report (lista A MNiSW)</b>						
Theoretical and Applied Climatology		3	85	90	6,696 <sup>2</sup>	7,854
Meteorologische Zeitschrift		1	20	25	1,160	2,648
International Agrophysics		1	20	25	1,574	1,267
Polish Journal of Environmental Studies		2	30	30	1,661	2,288
Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set The Environment Protection)		1	15	15	0,808	0,685
Russian Meteorology and Hydrology		1	15	15	0,446	0,479
Journal of Elementology		1	15	15	0,641	0,779
Environment Protection Engineering		1	15	15	0,486	0,822
Atmosphere		1	20	20	1,704 <sup>2</sup>	1,775
Idojaras		1	15	15	0,660 <sup>2</sup>	1,171
<b>ŁĄCZNIE</b>		<b>13</b>	<b>250</b>	<b>265</b>	<b>15,836</b>	<b>19,768</b>
<b>Pozostałe czasopisma recenzowane (lista B MNiSW)</b>						
Acta Agrophysica	4	3	36	98		
Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie		1	5	10		
Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin. Agric., Aliment., Pisc., Zootech.		6	35	60		
Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus		1	4	10		
Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura		2	4	22		
Annales Universitatis Mariae Curie – Skłodowska, Lublin- Polonia, sectio B		2	12	18		
Polish Journal of Natural Sciences		2	24	28		
Electronic Journal of Polish Agricultural Universities		1	4	12		
Prace i Studia Geograficzne		2	8	16		
Geographia Polonica		1	8	15		
Przegląd Geograficzny		2	24	24		
Baltic Coastal Zone		1	11	11		
Kosmos		1	12	12		
Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska		1	10	10		
<b>ŁĄCZNIE</b>	<b>4</b>	<b>26</b>	<b>197</b>	<b>346</b>		
<b>Rozdziały w monografiach w języku angielskim</b>						
Wydawnictwo: Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie		1	5	5		
<b>Rozdziały w monografiach w języku polskim</b>						
Wydawnictwo: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze		2	8	8		
Wydawnictwo: Uniwersytet Szczeciński		1	4	4		
<b>Inne prace recenzowane (spoza listy B)</b>						
Atlas: Wydawnictwo - AR Szczecin, Uniwersytet Szczeciński	1		0	0		

Atlas: Wydawnictwo - Uniwersytet Szczeciński	1		0	0		
Mapa ścienna: Klimat Polski	1		0	0		
<b>Publikacje w recenzowanych materiałach z konferencji, uwzględnione w <i>Web of Science</i></b>						
E3S Web of Conferences		1	15	15		
<b>Inne</b>						
Prace konferencyjne, abstrakty w języku angielskim		10	0	0		
Prace konferencyjne, abstrakty w języku polskim	2	30	0	0		
Ekspertyzy w języku polskim		1	0	0		
<b>ŁĄCZNIE wszystkie pozycje (w tym dla osiągnięcia)</b>	<b>9</b>	<b>85 (7)</b>	<b>479 (130)</b>	<b>643 (145)</b>	<b>15,836 (9,018)</b>	<b>19,768 (11,419)</b>

<sup>1</sup> zestawienie zgodne z punktacją zamieszczoną w załączniku 3

<sup>2</sup> dla prac opublikowanych w 2018 roku lub przyjętych do druku, przyjęto IF z roku 2017 (stan na dzień 04.07.2018)

Pozostałe dane bibliometryczne (stan na dzień 04.07.2018):

- liczba publikacji w bazie Web of Science Core Collection – **11**
- liczba publikacji w bazie Scopus – **22**
- liczba cytowań według bazy Web of Science Core Collection – **28 (16 bez autocytowań)**
- liczba cytowań według bazy Scopus – **50 (21 bez autocytowań)**
- liczba cytowań według bazy Google Scholar na podstawie Publish or Perish – **189**
- indeks Hirscha według bazy Web of Science Core Collection – **3**
- indeks Hirscha według bazy Scopus – **4**
- indeks Hirscha według bazy Google Scholar na podstawie Publish or Perish – **7**

Jadwiga Nidzgoska-Lenciewicz  
13.08.2018