

**BADANIA KLIMATU MIEJSKIEGO W TORUNIU  
PROWADZONE PRZEZ KATEDRĘ METEOROLOGII I KLIMATOLOGII UMK  
– ZARYS HISTORII I UZYSKANYCH WYNIKÓW**

**Research on the urban climate of Toruń by the Department of Meteorology  
and Climatology of NCU: an overview of history and results**

RAJMUND PRZYBYŁAK\*<sup>1</sup> , JOANNA USCKA-KOWALKOWSKA\*<sup>2</sup> 

**Zarys treści.** W artykule przedstawiono historię badań klimatu miejskiego w Toruniu zainicjowanych i prowadzonych przez Katedrę Meteorologii i Klimatologii UMK. Analizując ją wyróżniono dwa okresy intensywnej badań z ww. tematyki: 1981–1993 i od 2011 r. do chwili obecnej. W pierwszym okresie pomiary prowadzono w znacząco mniejszej liczbie punktów, a także w mniejszym zakresie niż w okresie drugim. Istotnie różny był także sprzęt pomiarowy, który w pierwszym okresie stanowiły termometry rtęciowe i samopisy, a w drugim automatyczne stacje meteorologiczne. Wyniki uzyskane z obydwu okresów, a dokładnie z lat 1982 i 2012, potwierdziły istnienie miejskiej wyspy ciepła (MWC) oraz istotnych zmian w rozkładzie przestrzennym wilgotności powietrza. Różnice średnich rocznych wartości temperatury i wilgotności powietrza w obydwu badanych okresach między centrum miasta a stacją referencyjną wyniosły odpowiednio ok. 1°C i 7%. Brak zmian intensywności MWC i rozkładu przestrzennego wilgotności powietrza między badanymi latami wy tłumaczyć można brakiem istotnych zmian w zabudowie starówki toruńskiej.

**Słowa kluczowe:** klimat miasta, miejska wyspa ciepła (MWC), Toruń, Polska

**Abstract.** The article presents the history of research into the urban climate of Toruń initiated and conducted by the Department of Meteorology and Climatology of Nicolaus Copernicus University. Two periods of intensive research on the subject were identified: 1981–1993 and 2011–present. In the first period, measurements were taken at a significantly smaller number of points and covered a narrower scope than in the second period. The measuring equipment was also significantly different, with mercury thermometers and drum recorders (thermo-hygrographs) being used in the first period, and automatic meteorological stations in the second. Results from both periods, specifically from 1982 and 2012, confirmed the existence of an urban heat island (UHI) and significant differences in the spatial distribution of air humidity. In both analysed periods, differences in mean annual temperature and air humidity between the city centre and the reference station were about 1°C and 7%, respectively. The lack of changes in UHI intensity and spatial distribution of air humidity between the analysed years can be explained by the lack of significant changes in the development of Toruń's Old Town.

**Key words:** urban climate, urban heat island (UHI), Toruń, Poland

## Wstęp

W historii działalności badawczej Katedry Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, istniejącej od 1947 r. (w latach 1969–2012 pod nazwą Zakładu Klimatologii) problematyka dotycząca badań klimatu Torunia, w sensie zróżnicowania przestrzennego elementów meteorologicznych na jego obszarze, podjęta została w czerwcu 1981 r. (Wójcik, Marciniak 2007). Wyraźnie dają się wyróżnić dwa wieloletnie okresy, w których prowadzono tego

rodzaju badania. Pierwszy okres trwał od wspomnianego czerwca 1981 r. do końca 1993 r. Zaangażowani w nie byli wszyscy pracownicy ówczesnego Zakładu Klimatologii (G. Wójcik, K. Marciniak, R. Przybylak i M. Kejna) oraz magistranci. Drugi okres natomiast rozpoczął się w 2011 r. i trwa do chwili obecnej. W latach 2011–2014 badania były realizowane w ramach projektu badawczego NCN pt. „Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia w zależności od czynników naturalnych i antropogenicznych”, a w kolejnych latach w ramach działalności statutowej Katedry Meteorologii i Klimatologii.

\* Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Meteorologii i Klimatologii, ul. Lwowska 1, 87-100 Toruń; e-mail: rp11@umk.pl; <sup>1</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4101-6116>; <sup>2</sup> ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2259-0833>

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie dotychczasowej historii badań miejskiej wyspy ciepła (MWC) w Toruniu prowadzonych przez pracowników Katedry Meteorologii i Klimatologii, uzyskanych najważniejszych wyników oraz stopnia ich rozpowszechnienia.

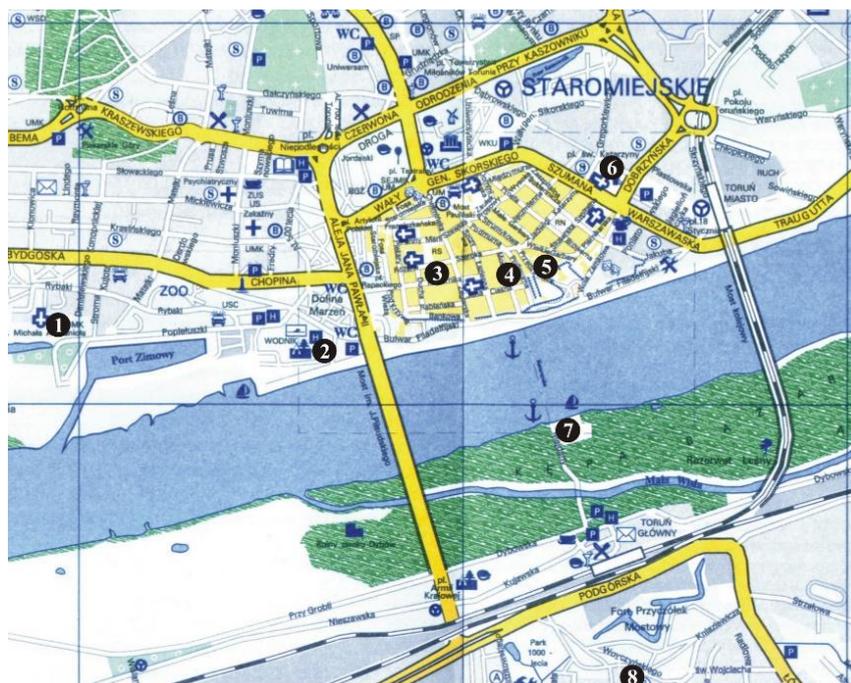
## **Pierwszy okres badawczy, VI 1981 – XII 1993**

### **Historia obserwacji**

W pierwszym okresie prowadzenia badań klimatu miasta Torunia, który objął 12 pełnych rocznych cykli pomiarowych, założono kilka punktów pomiarowych zlokalizowanych na terenie starego miasta i na jego obrzeżach (rys. 1). Na początku powstała sieć 4 punktów pomiarowych (rys. 1 w pracy Wójcik, Marciniak 1984), które w obecnej pracy na rys. 1 są ponumerowane jako 2–3, 7–8. W dalszych latach realizacji badań klimatu miejskiego Torunia, rozszerzono sieć o kolejne 4 punkty. Rozmieszczenie punktów pomiarowych było tak zaplanowane, aby reprezentowały one wszystkie rodzaje użytkowania terenu w mieście. W okresie istnienia pełnej sieci obserwacyjnej zostały one zatem zlokalizowane w centrum toruńskiej starówki na terenie Dworu Artusa wewnątrz ciasnego czworobocznego podwórka o wysokiej zabudowie (pkt. 3, rys. 1). Inny punkt pomiarowy w centrum Torunia, o podobnej lokalizacji, założono na obszernym wewnętrznym podwórku należącym wówczas do Instytutu Archeologii (pkt. 4, rys. 1), jednak bardziej naświetlonym niż Dwór Artusa. Jeszcze inny punkt, leżący tuż za obszarem starówki, został umiejscowiony na eksponowanym na słońce i wyasfaltowanym Placu Św. Katarzyny (pkt. 5, rys. 1). Tereny rekreacyjne położone niedaleko Wisły reprezentowały punkty: na kąpielisku (obecnie już nieistniejący) na jej prawym brzegu (pkt. 2, rys. 1) i na przystani kajakowej na lewym brzegu (pkt. 7, rys. 1). Punkty pomiarowe zlokalizowane w lewo-brzeżnej dzielnicy na Podgórzu (pkt. 8, rys. 1, z powodu częstych zniszczeń przyrządów pomiarowych został dość szybko zlikwidowany) oraz punkt w przyzakładowym, małym parku (pkt. 1, rys. 1) dobrze charakteryzowały miejskie tereny parkowe i willowo-ogrodowe. Względnie mała liczba punktów pomiarowych, jak na obecne standardy, wynikała z faktu, iż w tamtych czasach zautomatyzowane urządzenia pomiarowe nie były w Polsce dostępne. Sieć punktów pomiarowych tworzyły małe żaluzjowe klatki meteorologiczne

wyposażone w tygodniowy termohigrograf, psychrometr Augusta i termometry: maksymalny i minimalny. Jedynie punkt pomiarowy zlokalizowany przy Zakładzie Klimatologii wyposażony był także w deszczomierz Hellmanna (fot. 1). Jako jedyny z wszystkich punktów pomiarowych był czynny do końca września 2006 r., kiedy Zakład Klimatologii wespół z innymi jednostkami Instytutu Geografii przeniósł się do nowego budynku przy ul. Lwowskiej 1 na osiedlu Bielany. Tak więc zasadniczo na obszarze całego Torunia w latach 1981–1993 mierzone były jedynie dwa elementy meteorologiczne, czyli temperatura i wilgotność powietrza. Pomiarzy były wykonywane codziennie z reguły w godzinach popołudniowych, najczęściej, jak wspomniano wcześniej, przez pracowników ówczesnego Zakładu Klimatologii wspomaganych przez magistrantów. Odczytywane były wartości z termometrów suchego i zwilżonego oraz temperatury ekstremalne. Po odczycie wskazania termometrów ekstremalnych były redukowane do temperatury aktualnej. Ponadto wykonywano repery na samopisach, pozwalające w późniejszym czasie na wprowadzenie stosownych poprawek na czas i wartości zmierzonych elementów meteorologicznych, czyli temperatury aktualnej i wilgotności względnej powietrza. Codzienne wykonywanie obserwacji na wszystkich punktach pomiarowych było czasochłonne, szczególnie w zimie, zwykle trwało od dwóch do czterech godzin.

Z termohigrogramów odczytywano codzienne wartości wspomnianych elementów meteorologicznych. Opracowywali je pod opieką śp. dr. Kazimierza Marciniaka magistranci Zakładu Klimatologii w ramach swoich prac magisterskich. W przypadku wilgotności powietrza obliczano także jej pozostałe, często używane w opracowaniach meteorologicznych dwie charakterystyki, tj. ciśnienie pary wodnej i niedosyt wilgotności powietrza. Do tego celu wykorzystywano tablice psychrometryczne. W efekcie danymi źródłowymi do opracowań klimatu miasta były codzienne wartości temperatury powietrza oraz wilgotności powietrza wyrażonej w postaci 3 jej charakterystyk, tj. ciśnienia pary wodnej, wilgotności względnej i niedosytu wilgotności. Dodatkowo danymi źródłowymi były dobowe wartości temperatury maksymalnej i minimalnej oraz czasy ich wystąpienia odczytane z termogramów. Do oceny wpływu miasta na klimat skorzystano z danych udostępnionych ze stacji meteorologicznej IMGW zlokalizowanej na przedmieściu Torunia na Wrzosach, którą uznano za stację referencyjną.



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych na obszarze Torunia w latach 1981–1993 (Wójcik, Marciniak 2007)

- 1 – Zakład Klimatologii, 2 – Wodnik, 3 – Dwór Artusa, 4 – Instytut Archeologii, 5 – PAX, 6 – Plac Św. Katarzyny,  
7 – Przystań, 8 – Podgórz (b. III LO im. Lindego, obecnie Szkoła Podstawowa nr 14)

Location of measurement points in Toruń, 1981–1993 (Wójcik, Marciniak 2007)

- 1 – Department of Climatology, 2 – Wodnik, 3 – Dwór Artusa, 4 – Institute of Archeology, 5 – PAX, 6 – Plac Św. Katarzyny, 7 – Przystań, 8 – Podgórz (formerly Samuel Linde High School no. 3, currently Elementary School no. 14)



fol. M. Kejna

Fot. 1. Punkt pomiarów meteorologicznych w parku przy Zakładzie Klimatologii UMK przy ul. Danielewskiego 6 w 2004 r. (Wójcik, Marciniak 2007)

Meteorological measurement point in the park by Nicolaus Copernicus University's Climatology Department at Danielewskiego 6 str. in 2004 (Wójcik, Marciniak 2007)

Wyniki przeprowadzonych badań rozkładu przestrzennego temperatury powietrza w Toruniu zostały przedstawione w Toruniu w czasie Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego w 1983 r. i w Łodzi w 1984 r. na konferencji z cyklu „Klimat i bioklimat miast”. Zagadnienie klimatu miasta zostało ponadto zaprezentowane w 1991 r. na seminarium w Szczecinku-Storkowie pt. „Kompleksowy Monitoring Środowiska Przyrodniczego” oraz ponownie na konferencji w Łodzi w 1992 r. Bogactwo uzyskanych materiałów badawczych zostało jednak w małym stopniu upublicznione w postaci artykułów naukowych. Ukazały się tylko dwa streszczenia w materiałach konferencyjnych ww. Zjazdu PTG (Wójcik, Marciniak 1983) i seminarium (Wójcik, Marciniak 1991) oraz jeden artykuł opublikowany w 1984 r. w Łodzi w materiałach konferencyjnych (Wójcik, Marciniak 1984). Natomiast niewątpliwie największym sukcesem przeprowadzonych badań klimatu miasta było wzbudzenie dużego zainteresowania nimi magistrantów Zakładu Klimatologii. Na podstawie bowiem uzyskanych wyników pomiarów meteorologicznych prowadzonych na obszarze Torunia w latach 1981–1993 powstało aż 25 prac magisterskich. Niemal wszystkie one (z wyjątkiem dwóch) wykorzystywały dane dotyczące jednego elementu (temperatury lub wilgotności powietrza) z okresu jednego roku kalendarzowego. Kończąc opis tychże badań w tym okresie należy wspomnieć, iż ich wyniki były na tyle wartościowe, iż zainteresował się nimi Instytut Zabytkoznawstwa z Wydziału Sztuk Pięknych UMK, który włączył je do koordynowanego przez siebie programu pt. „Naukowe podstawy ochrony i konserwacji zabytków w Polsce”. Zakład Klimatologii realizował w latach 1989–1992 w ramach tego programu zadanie pt. „Mikroklimaty ciasnej zabudowy średniowiecznego „starego miasta” w porównaniu z dzielnicami nowymi i ich oddziaływanie na zabytki architektury na przykładzie Torunia”.

## Wyniki badań

Wójcik i Marciniak (1984) przedstawili wyniki badań rozkładu przestrzennego trzech parametrów temperatury powietrza (średniej dobowej i temperatur ekstremalnych) na obszarze Torunia w 1982 r. W opisywanym roku pracowały 4 punkty pomiarowe wspomniane we wstępie do niniejszej pracy. Na ich podstawie stwierdzili występowanie wyspy ciepła w Toruniu o wartości w skali roku równej  $1,2^{\circ}\text{C}$  (różnica między temperaturą zmierzoną w stacji śródmiejskiej (punkt nr 3, Dwór Artusa) i na stacji IMGW na Wrzosach

na przedmieściu Torunia). Zgodnie z oczekiwaniem MWC najwyraźniejsza była w przypadku temperatury minimalnej ( $2,0^{\circ}\text{C}$ ), a najmniej widoczna w świetle temperatury maksymalnej ( $1,0^{\circ}\text{C}$ ). W przebiegu rocznym około dwukrotnie intensywniejsza była ona w półroczu ciepłym (IV–IX,  $1,4\text{--}1,9^{\circ}\text{C}$ ) niż w większej części półrocza chłodnego (X–II,  $0,6\text{--}0,9^{\circ}\text{C}$ ) i nieco większa niż w marcu ( $1,2^{\circ}\text{C}$ ) (zobacz tab. 2 w Wójcik, Marciniak 1984). Autorzy w ww. publikacji przeanalizowali także zmienność rozkładu przestrzennego temperatury powietrza w cyklu dobowym. Stwierdzili, iż zarówno w lecie, jak i w zimie MWC jest największa w ciągu godzin nocnych. Potwierdzili także znaczący wpływ warunków pogodowych na jej intensywność w Toruniu. Wykazali, iż pogoda cykonalna o dużej dynamice przemieszczających się mas powietrza, którym jednocześnie towarzyszy duże zachmurzenie, prowadzi do zaniku zróżnicowania termicznego na obszarze Torunia, niezależnie od pory roku. Natomiast rozwojowi MWC sprzyja pogoda antycyklonalna, słoneczna i bezwietrzna. Wójcik i Marciniak (1984) w konkluzji swojej pracy stwierdzili, iż głównym czynnikiem różnicującym rozkład przestrzenny temperatury powietrza w Toruniu jest charakter podłoża i jego zabudowa, decydujące zarówno o jego bilansie radiacyjnym, jak i ciepłym. Emisja ciepła sztucznego odgrywa ich zdaniem zdecydowanie mniejszą rolę, szczególnie w okresie letnim. Te wyniki są zgodne z wynikami, które uzyskaliśmy dla Torunia analizując rozkład temperatury powietrza w 2012 r., wykorzystując do tego celu dane pomiarowe ze znacznie gęstszej sieci stacji pomiarowych wyposażonych w nowoczesne przyrządy pomiarowe (Przybylak i in. 2017).

Drawska (1983) w swojej pracy magisterskiej przedstawiła wyniki badań rozkładu przestrzennego trzech parametrów wilgotności powietrza (wilgotności względnej, ciśnienia pary wodnej i niedosytu wilgotności) na obszarze Torunia w 1982 roku. Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdziła, iż – zgodnie z oczekiwaniem – najsuchszym miejscem w Toruniu, z 5 miejsc badanych, było śródmieście (punkt Dwór Artusa, rys. 1), a najwilgotniejszym punkt na Podgórzu (8), w lewobrzeżnej części miasta. Różnica wilgotności powietrza między tymi punktami wg średnich rocznych wyniosła odpowiednio dla wilgotności względnej i ciśnienia pary wodnej 7% i 0,4 hPa. W przebiegu rocznym wyraźnie większe różnice wilgotności względnej między analizowanymi punktami wystąpiły w okresie od marca do sierpnia (od 8 do 12%), a mniejsze w pozostałym okresie roku (4–6%). Bardziej skomplikowana sytuacja wystąpiła w przypadku

analizy ciśnienia pary wodnej. Punkt na Podgórzu wykazywał większą o ok. 0,8–1,3 hPa zawartość pary wodnej niż w śródmieściu w miesiącach marzec, czerwiec i sierpień, a w styczniu i wrześniu nieznacznie mniejszą (0,1–0,3 hPa).

Autorka w ww. publikacji przeanalizowała także zmienność rozkładu przestrzennego wilgotności powietrza w cyklu dobowym. Stwierdziła, iż średnio rocznie, jak również we wszystkich miesiącach, była ona największa w ciągu godzin nocnych, kiedy w śródmieściu w godz. od 20.00 do 5.00 rano była ona mniejsza niż na stacji na Wrzosach o 3–5%. Natomiast w przypadku ciśnienia pary wodnej dodatkowo duże wartości różnic, o podobnej jak w nocy skali (0,4–0,7 hPa), były notowane także w pozostałych godzinach, z wyjątkiem godzin porannych (6.00–10.00). Należy jednak dodać, iż w śródmieściu ciśnienie pary wodnej było wyższe niż na stacji na Wrzosach, chociaż niższe niż w punkcie Podgórz, jak wcześniej podano. Drawska (1983) stwierdziła także znaczący wpływ warunków pogodowych na zmienność przestrzenną wilgotności powietrza w Toruniu. Wykazała, iż różnice wilgotności powietrza w ziemie były najmniejsze przy pogodzie antycyklonalnej (małe zachmurzenie), natomiast w lecie występowały one podczas pogody cyklonalnej z dużym zachmurzeniem.

## Drugi okres badawczy, 2011–2018

### Historia badań

Drugi etap w historii badań klimatu Torunia stał się możliwy, dzięki upowszechnieniu automatycznych metod pomiarów meteorologicznych. W XXI wieku automatyczne stacje meteorologiczne (ang. *Automatic weather stations*, AWS) stały się dostępne zarówno w zakresie technicznym, jak i od strony kosztów. Możliwe stało się więc tworzenie sieci pomiarowych na tyle gęstych, by uzyskane wyniki pomiarów odzwierciedlały w zadowalający sposób zróżnicowanie warunków klimatycznych na obszarze miasta.

W latach 2011–2014 na Wydziale Nauk o Ziemi UMK realizowano projekt NCN zatytułowany „Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia w zależności od czynników naturalnych i antropogenicznych”. W projekcie uczestniczyło pięciu pracowników Katedry Meteorologii i Klimatologii (R. Przybylak, M. Kejna, J. Uscka-Kowalkowska, A. Araźny i R. Maszewski) oraz M. Kunz z Katedry Geomatyki i Kartografii. Głównym

celem projektu było zbadanie 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. Do celów projektu opracowano cyfrową mapę użytkowania i pokrycia terenu miasta Torunia na podstawie materiałów kartograficznych oraz teledetekcyjnych (Kunz i in. 2012). Następnie utworzono sieć punktów pomiarowych w charakterystycznych dla Torunia osiedlach z automatyczną rejestracją podstawowych elementów meteorologicznych: temperatury i wilgotności powietrza, kierunku i prędkości wiatru, opadów atmosferycznych, promieniowania całkowitego i promieniowania ultrafioletowego (UV). Sieć pomiarowa została tak zaprojektowana, aby poszczególne jej punkty reprezentowały obszary o różnych rodzajach pokrycia terenu. W czasie trwania projektu sieć tworzyło 27 punktów pomiarów meteorologicznych, z których 24 zostało założonych specjalnie na potrzeby projektu, a pozostałe 3 istniały wcześniej (tab. 1, rys. 2). Istniejące punkty to: Obserwatorium Meteorologiczne Katedry Meteorologii i Klimatologii UMK w zachodniej części miasta, stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Koniczynie pod Toruniem oraz Stacja Meteorologiczna IMGW-PIB na osiedlu Wrzosa w północnej części miasta.

Każdy z punktów został przyporządkowany do określonej strefy w zależności od odległości od centrum i położenia w stosunku do koryta Wisły. Ścisłe centrum miasta (CC) reprezentują punkty: LO1, UCI i PAN. Toruńskie centrum stanowi obszar zwartej gotyckiej zabudowy, częściowo otoczonej murem, a od południa ograniczonym przez koryto Wisły. Bezpośrednio z centrum sąsiaduje strefa bliskiego otoczenia w prawobrzeżnej części Torunia (CRSC), do której należą punkty: RMA, KAL, PLS, GLA, MET, PSK i ZOO. Strefa ta jest zróżnicowana pod względem użytkowania terenu. W otoczeniu punktów MET i ZOO duży udział mają obszary pokryte zielenią, punkty RMA i GLA to obszary o zróżnicowanej zabudowie, punkt KAL położony jest w osiedlu domków jednorodzinnych, a punkt PSK w osiedlu z wielkiej płyty, natomiast punkt PSK sąsiaduje ze starówką. Kolejną wyróżnioną strefą jest prawe obrzeże centrum miasta (RSC). Należą tu punkty: WRZ, PGO, SAL, MSC, OME, SKM i ZLO. Na północy miasta w otoczeniu zabudowy jednorodzinnej, terenów piaszczystych i żwirowych oraz lasów położone są punkty SAL i WRZ.

Tabela 1

Punkty pomiarowe wykorzystane w badaniach topoklimatycznych Torunia w latach 2011–2014

Measuring points used in topoclimatic studies of Toruń in 2011–2014

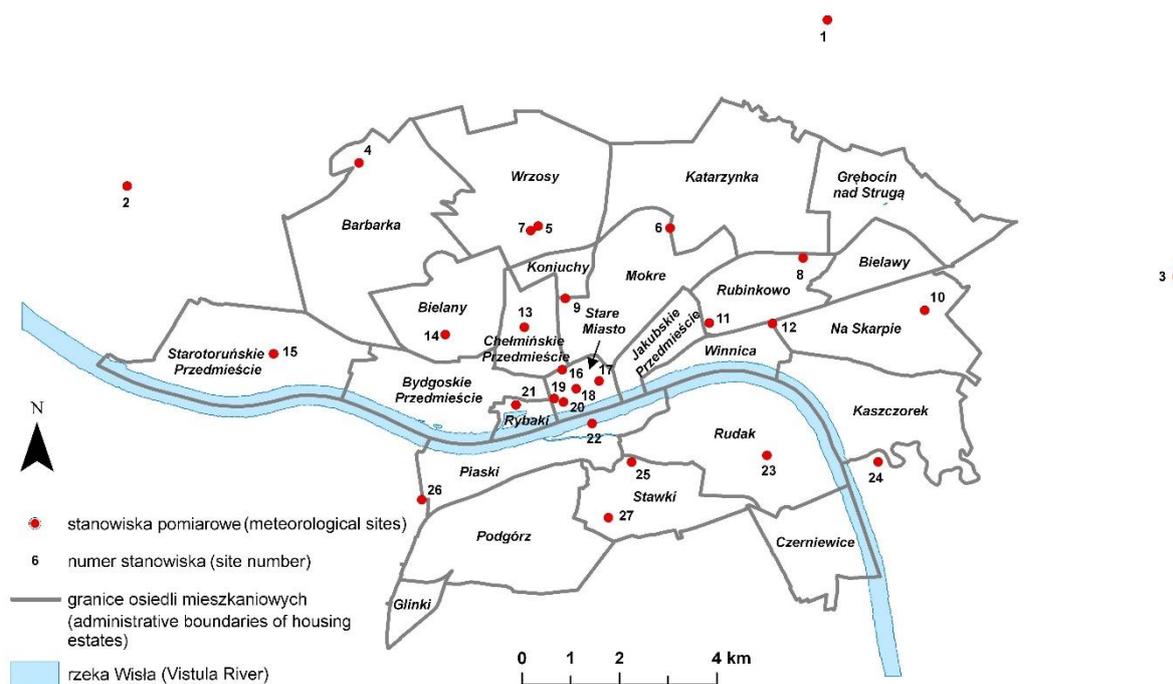
| Nr No. | Symbol Symbol | Lokalizacja Location             | Strefa Zone | Współrzędne geograficzne Geographic coordinates |             | H (m n.p.m.) H (m a.s.l.) |
|--------|---------------|----------------------------------|-------------|---|-------------|---------------------------|
| 1      | KON           | Koniczynka                       | RA          | 53 04 50.16                                     | 18 41 02.40 | 88,1                      |
| 2      | CZB           | Czarne Błoto                     | RA          | 53 02 55.98                                     | 18 28 09.93 | 37,5                      |
| 3      | KRO           | Krobia                           | RA          | 53 01 58.84                                     | 18 47 29.85 | 76,6                      |
| 4      | BAR           | Barbarka                         | FOC         | 53 03 12.53                                     | 18 32 25.86 | 58,6                      |
| 5      | WRZ           | Toruń - Wrzosey, Storczykowa 124 | RSC         | 53 02 31,01                                     | 18 35 44,81 | 69,0                      |
| 6      | PGO           | Toruń, Kociewska 30              | RSC         | 53 02 30.06                                     | 18 38 09.88 | 67,0                      |
| 7      | SAL           | Toruń, Storczykowa 66a           | RSC         | 53 02 27.94                                     | 18 35 36.01 | 69,8                      |
| 8      | MSC           | Toruń, Skłodowskiej-Curie 96b    | RSC         | 53 02 10.47                                     | 18 40 36.86 | 66,7                      |
| 9      | RMA           | Toruń, Żwirki i Wigury 80        | CRSC        | 53 01 42.48                                     | 18 36 14.54 | 64,2                      |
| 10     | LBI           | Toruń, Leśny Trakt 5             | FOC         | 53 01 35.75                                     | 18 42 51.11 | 66,0                      |
| 11     | KAL           | Toruń, Kalinowa 11               | CRSC        | 53 01 26.61                                     | 18 38 53.49 | 63,2                      |
| 12     | PLS           | Toruń, Pl. Sybiraków             | CRSC        | 53 01 26.43                                     | 18 40 03.33 | 66,9                      |
| 13     | GLA           | Toruń, Szosa Chełmińska 83       | CRSC        | 53 01 23.08                                     | 18 35 29.35 | 62,3                      |
| 14     | OME           | Toruń, Lwowska 1                 | RSC         | 53 01 17.83                                     | 18 34 02 29 | 50,3                      |
| 15     | SKM           | Toruń, Starotoruńska 3           | RSC         | 53 01 04.23                                     | 18 30 52.91 | 36,5                      |
| 16     | MET           | Toruń, Czerwona Droga            | CRSC        | 53 00 54.65                                     | 18 36 11.49 | 54,9                      |
| 17     | PSK           | Toruń, Pl. Św. Katarzyny         | CRSC        | 53 00 47.33                                     | 18 36 52.32 | 53,5                      |
| 18     | LO1           | Toruń, Zaułek Prosoyowy 1        | CC          | 53 00 41.94                                     | 18 36 27.06 | 49,0                      |
| 19     | UCI           | Toruń, Pl. Rapackiego 1          | CC          | 53 00 35.38                                     | 18 36 02.78 | 48,9                      |
| 20     | PAN           | Toruń, Kopernika 19              | CC          | 53 00 33.05                                     | 18 36 13.11 | 49,0                      |
| 21     | ZOO           | Toruń, Rybaki                    | CRSC        | 53 00 30.89                                     | 18 35 20.55 | 46,1                      |
| 22     | KBA           | Toruń, Majdany 1                 | LSC         | 53 00 18.79                                     | 18 36 44.74 | 39,2                      |
| 23     | RUD           | Toruń, Ołędzka 33                | LSC         | 52 59 57.94                                     | 18 39 57.87 | 50,6                      |
| 24     | ZLO           | Toruń, Toruńska 3                | RSC         | 52 59 53.88                                     | 18 42 00.56 | 36,5                      |
| 25     | BOR           | Toruń, Komorowskiego-Bora 7      | LSC         | 52 59 53.07                                     | 18 37 28.71 | 47,5                      |
| 26     | MAN           | Toruń, Toruńska 2a               | LSC         | 52 59 27.03                                     | 18 33 37.37 | 39,3                      |
| 27     | STP           | Toruń, Łączna                    | LSC         | 52 59 15.66                                     | 18 37 03.37 | 50,4                      |

RA – obszar wiejski, FOC – obszar leśny, RSC – obrzeża prawe centrum miasta, CRSC – bliskie obrzeża prawe centrum miasta, CC – centrum miasta, LSC – lewobrzeżne obrzeża centrum miasta (Uscka-Kowalkowska i in. 2014a)

RA – rural area, FOC – forested area, RSC – right-bank outskirts of city centre, CRSC – immediate right-bank outskirts of city centre, CC – city centre, LSC – left-bank outskirts of city centre (Uscka-Kowalkowska *et al.* 2014a)

W otoczeniu kolejnych dwóch punktów (PGO i MSC) dominuje roślinność trawiasta i zarośla oraz zabudowa przemysłowo-magazynowa. Typowo podmiejskim punktem jest ZLO, gdzie znaczący udział ma roślinność trawiasta i grunty orne. Punkt SKM wyróżnia się dużym udziałem wód płynących i obszarów porośniętych roślinnością różnego typu. Ostatnim z punktów tej strefy jest OME – Obserwatorium Meteorologiczne UMK, położone wśród zabudowy różnego typu, lasów i roślinności trawiastej. Lewobrzeżne obrzeża centrum miasta (LSC) reprezentują punkty z dużym udziałem wód powierzchniowych (KBA), roślinności trawiastej

(RUD i STP), zabudowy jednorodzinnej (BOR) oraz upraw na gruntach ornych (MAN). Dwa punkty położone są w obszarze leśnym (FOC) na wschodzie (LBI) i zachodzie (BAR) miasta. Tereny pozamiejskie reprezentują: CZB, KRO i KON (RA). Ostatni z punktów (KON) to oddalona o 9 km od Torunia Stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) w Koniczynie. W stacji tej systematyczne pomiary meteorologiczne w ramach ZMŚP prowadzone są już od 1994 roku, a brak czynników antropogenicznych wprowadzających istotne zmiany środowiskowe powoduje, że idealnie nadaje się do wyznaczenia



Rys. 2. Punkty pomiarowe (numeracja zgodna z tabelą 1) wykorzystane w badaniach topoklimatycznych Torunia w latach 2011–2014 (Uscka-Kowalkowska i in. 2014a)

Measurement points (numbered as per Table 1) used in topoclimatic studies of Toruń in 2011–2014 (Uscka-Kowalkowska *et al.* 2014a)

anomali w polu różnych elementów meteorologicznych związanych z obecnością miasta. Do tego celu nadają się także dwa pozamiejskie punkty pomiarowe: Czarne Błoto (CZB) i Krobia (KRO).

Zaprezentowana powyżej sieć wyposażona jest w automatyczne stacje meteorologiczne różnego typu. Na 12 stanowiskach zainstalowano stacje Vantage Pro+ firmy Davis, natomiast na 13 stanowiskach zainstalowano rejestratory temperatury i wilgotności powietrza RHTemp101A firmy MadgeTech umieszczone w osłonach radiacyjnych. Czujniki przyrządów umieszczono na wysokości 2 m nad poziomem gruntu. W Stacji ZMŚP w Koniczynie pomiary prowadzone są za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej firmy Vaisala. Ostatnie ze stanowisk – WRZ – to Regionalna Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB w Toruniu, wyposażona w automatyczną stację meteorologiczną Vaisala.

Powyżej przedstawiona sieć działała do końca roku 2014. Później, po zakończeniu projektu, pozostawiono tylko wybrane punkty, które pracują do chwili obecnej. Oprócz stałych punktów pomiarowych pozostawiono 9 stacji, co oznacza, że łącznie od 2015 roku na obszarze Torunia

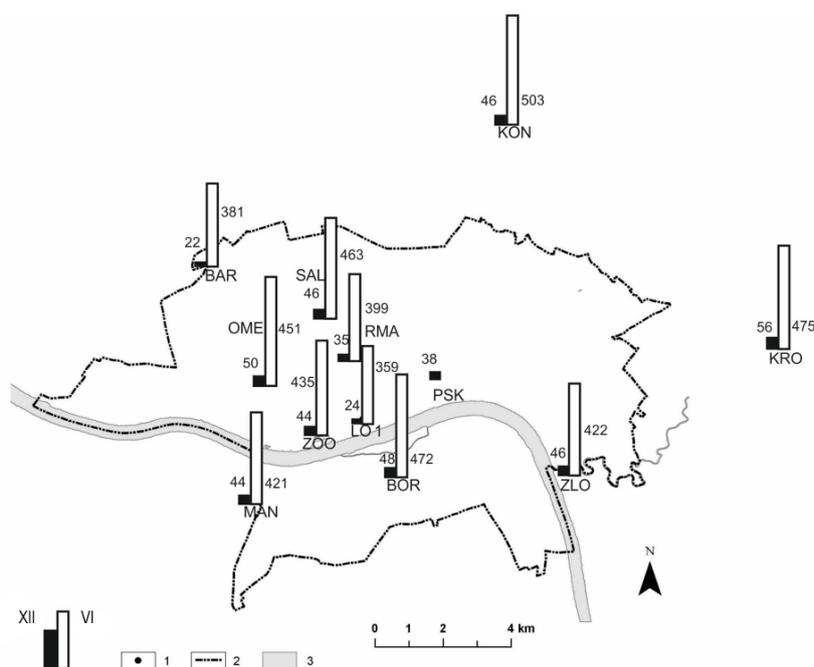
i w strefie podmiejskiej działa 12 stacji pomiarowych. W centrum miasta pozostawiono stację LO1 (objaśnienia nazw punktów tab. 1), w strefie bliskich obrzeży po prawej stronie Wisły pozostawiono punkty PSK i ZOO, w strefie dalszych obrzeży po prawej stronie Wisły pozostały punkty MSC, SKM, OME i WRZ, natomiast w lewobrzeżnej części Torunia działają punkty BOR i MAN. W granicach administracyjnych miasta, ale na obszarze leśnym, pozostawiono punkty BAR i LBI, natomiast funkcję stacji referencyjnej pełni w dalszym ciągu stacja w Koniczynie (KON).

Pomiary prowadzone w Toruniu pozwoliły na analizę rozkładów przestrzennych i przebiegów rocznych wybranych elementów klimatu miasta. Wyniki badań zostały opublikowane w postaci artykułów, m.in. opracowano zróżnicowanie przestrzenne dopływu całkowitego promieniowania słonecznego (Kejna i in. 2014), temperatury powietrza (Przybylak i in. 2017), wilgotności powietrza (Uscka-Kowalkowska i in. 2014b), kierunku i prędkości wiatru (Strzyżewski i in. 2015) oraz warunków biometeorologicznych (Araźny i in. 2015, 2016) w wybranych latach.

## Wyniki badań

Uzyskane wyniki badań wskazują na duże zróżnicowanie warunków klimatycznych na obszarze miasta. W przypadku dopływu promieniowania obserwuje się jego zmniejszenie, zarówno ze względu na przesłonięcie horyzontu, jak i zanieczyszczenie powietrza. Zagadnienie zróżnicowania dopływu całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Torunia i w jego strefie podmiejskiej opracowano dla roku 2012 i opublikowano w czasopiśmie *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* (Kejna i in. 2014). Opracowanie powstało na podstawie danych pomiarowych z 12 stacji zlokalizowanych w terenie o różnej zabudowie i przesłonięciu horyzontu. W 2012 r. największa suma roczna

dopływu całkowitego promieniowania słonecznego wystąpiła w strefie podmiejskiej Torunia (KON), natomiast najmniejsza była charakterystyczna dla centrum miasta (LO1) i dla terenu leśnego (BAR). Duże różnice dopływu promieniowania, w zależności od pokrycia terenu, rejestruje się także w przebiegu rocznym. Sumy promieniowania w grudniu i w czerwcu dla badanych stacji przedstawia rys. 3. W okresie zimowym (grudzień) suma promieniowania w centrum miasta (LO1) była prawie dwa razy mniejsza niż poza miastem (KON). W okresie letnim (czerwiec) również uwidacznia się znacząca przewaga dopływu promieniowania poza miastem, ale różnica nie jest już taka duża (Kejna i in. 2014).



Rys. 3. Sumy miesięczne promieniowania słonecznego (w  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ) w Toruniu i jego strefie podmiejskiej w czerwcu i grudniu 2012 roku (Kejna i in. 2014, zmodyfikowane)

1 – stanowiska pomiarowe, 2 – granica administracyjna miasta, 3 – rzeka Wisła; pozostałe objaśnienia w tabeli 1

Monthly totals of global solar radiation (in  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ) in Toruń and its suburbs, June and December 2012 (Kejna *et al.* 2014, modified)

1 – measurement stations, 2 – administrative border of the city, 3 – the Vistula river; other explanations in Table 1

Opisane wcześniej badania uzupełniono o zagadnienie dopływu całkowitego, rozproszonego oraz bezpośredniego promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi w zachodniej części miasta w Obserwatorium Meteorologicznym UMK (OME) w roku 2013. Dodatkowo obliczono także wskaźnik przezroczystości ( $K_T$ ), zdefiniowany jako stosunek sumy dziennej dopływu całkowitego promieniowania słonecznego do powierzchni ziemi do analogicznej sumy promieniowania na górnej granicy atmosfery (Diabaté i in. 2004).

Dla wybranych dni 2013 roku o odpowiednich warunkach meteorologicznych (tarcza słoneczna nieprzesłonięta przez chmury), obliczono charakterystyki przezroczystości atmosfery. Do tego celu wybrano wskaźnik zmętnienia Linkego ( $T_{L2}$ ) i współczynnik przezroczystości atmosfery ( $p_2$ ). Szczegółowa metodyka obliczeń jest przedstawiona m.in. w pracy Usckiej-

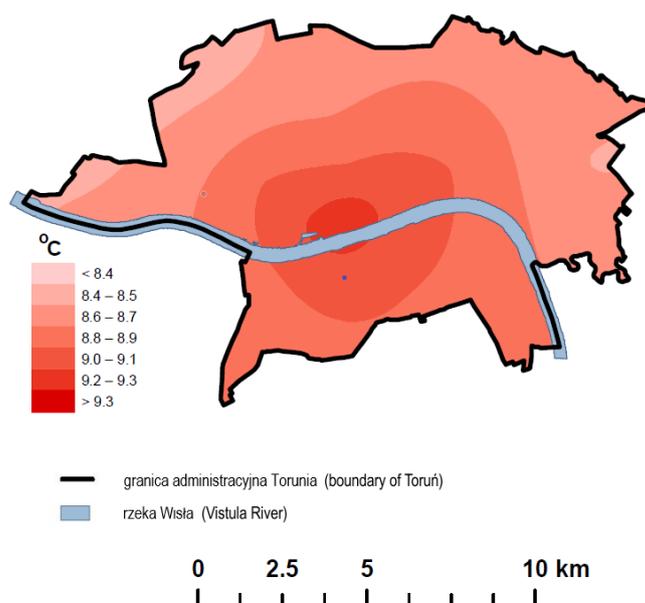
-Kowalkowskiej (2013). Charakterystykę optyczną atmosfery badano także za pomocą fotometru słonecznego (Microtops II). Pomiary wykonywane były ręcznie przy dobrych warunkach pogodowych w Obserwatorium Meteorologicznym oraz patrolowo w wybranych punktach w godzinach okołopołudniowych. Pomiary wykonywane były w wybranych dniach w okresie od czerwca 2013 roku do grudnia 2014 roku. Łącznie zebrano 28 dni pomiarowych reprezentujących każdą z pór roku. Uzyskane wyniki przedstawiono w końcowym sprawozdaniu z realizacji projektu, natomiast nie zostały one jeszcze opublikowane.

Jednym z najbardziej znanych przejawów odrębności klimatu miasta jest występowanie MWC, co potwierdzają także wyniki badań prowadzonych w Toruniu. Praca na ten temat została opublikowana w czasopiśmie *Theoretical and Applied Climatology* (Przybylak i in. 2017). W Toruniu średnia intensywność wyspy ciepła w 2012 r. wyniosła około  $1^{\circ}\text{C}$  (rys. 4). Była ona pod tym względem porównywalna do jej wartości w innych polskich miastach, gdzie oscylowała od  $0,6^{\circ}\text{C}$  w Łodzi (Kłysik i in. 1995) do  $1,3^{\circ}\text{C}$  w Bydgoszczy (Dudek i in. 2008). Stwierdzono wyraźnie największy wpływ miasta na  $T_{\text{min}}$  (ok.  $1,8^{\circ}\text{C}$ ), a najmniejszy na  $T_{\text{max}}$  ( $0,4^{\circ}\text{C}$ ) (rys. 5). Intensywność MWC jest wyraźnie większa w lecie niż w zimie. W porównaniu do wyników przedstawionych wcześniej dla 1982 r. nie odnotowano wzrostu intensywności MWC, a raczej nawet jej lekkie osłabienie.

Liczby dni gorących i bardzo gorących oraz mroźnych i bardzo mroźnych w Toruniu w 2012 r. były odpowiednio nieznacznie większe/mniejsze (o ok. 2–4 dni) w centrum miasta w porównaniu do otaczających je obszarów wiejskich. Podobnie, jak to stwierdzono w innych miastach, także w Toruniu został potwierdzony istotny wpływ zachmurzenia i prędkości wiatru na intensywność MWC (Morris i in. 2001; Szymanowski 2004; Błażejczyk i in. 2014). Wzrost zachmurzenia i prędkości wiatru powodował zmniejszenie intensywności MWC. Stwierdzono jednak jednocześnie, iż w tym procesie zachmurzenie pełni nieznacznie większą rolę.

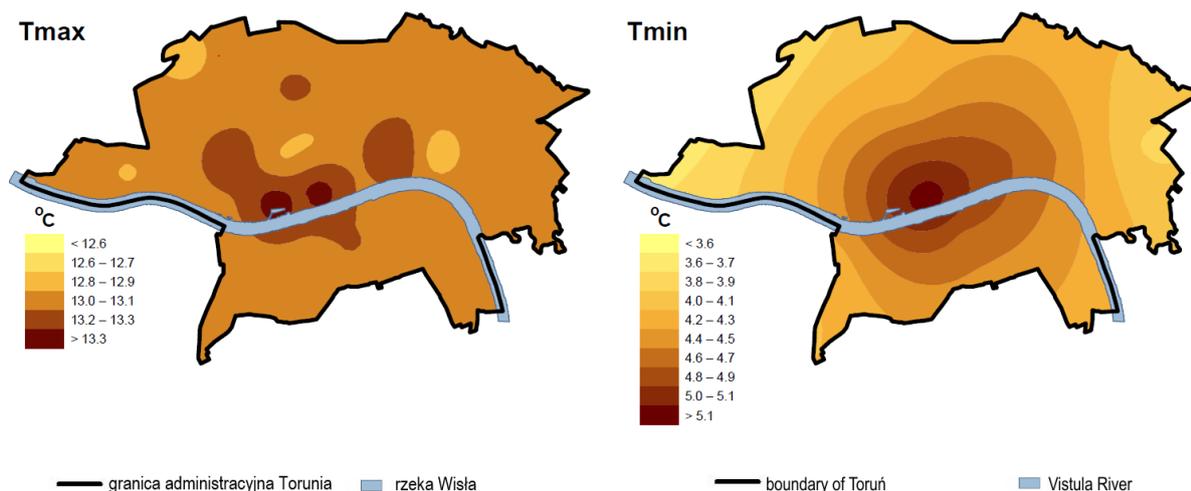
W Toruniu, również zgodnie z oczekiwaniem, stwierdzono pojawianie się intensywniejszej MWC w sytuacjach wyżowych, szczególnie w lecie. Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na  $T_{\text{max}}$  jest wyraźnie mniejszy niż na  $T_{\text{i}}$  i  $T_{\text{min}}$  i nie przekracza  $0,5^{\circ}\text{C}$  w stosunku do wartości średniej obliczonej z wszystkich dni (Przybylak i in. 2017).

Na obszarze miasta duże zróżnicowanie przestrzenne charakteryzuje także wilgotność powietrza. Element ten został zbadany przy wykorzystaniu dwóch jego parametrów: wilgotności względnej i ciśnienia pary wodnej na przykładzie danych z 2012 roku. Uzyskane wyniki opublikowano w czasopiśmie *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* (Uscka-Kowalkowska i in. 2014b).



Rys. 4. Rozkład przestrzenny średniej rocznej temperatury powietrza w Toruniu w 2012 roku (Przybylak i in. 2017, zmodyfikowane)

Spatial distribution of average annual air temperature in Toruń in 2012 (Przybylak *et al.* 2017, modified)

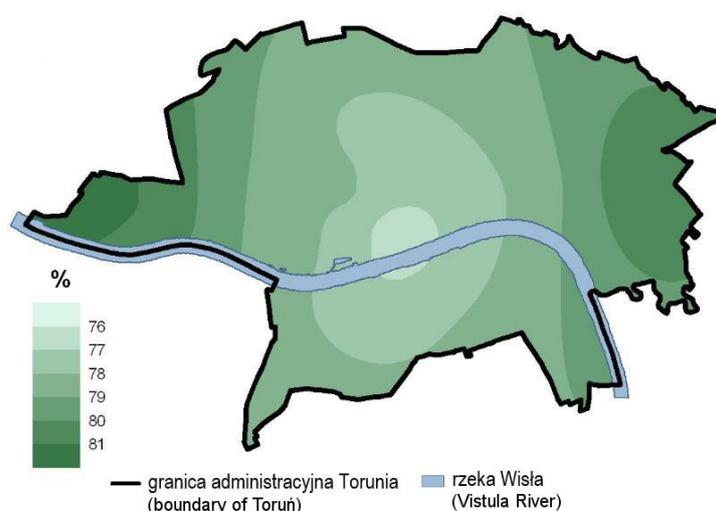


Rys. 5. Rozkład przestrzenny średniej rocznej maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w Toruniu w 2012 roku (Przybylak i in. 2017, zmodyfikowane)

Spatial distribution of average annual maximum and minimum air temperatures in Toruń in 2012 (Przybylak *et al.* 2017, modified)

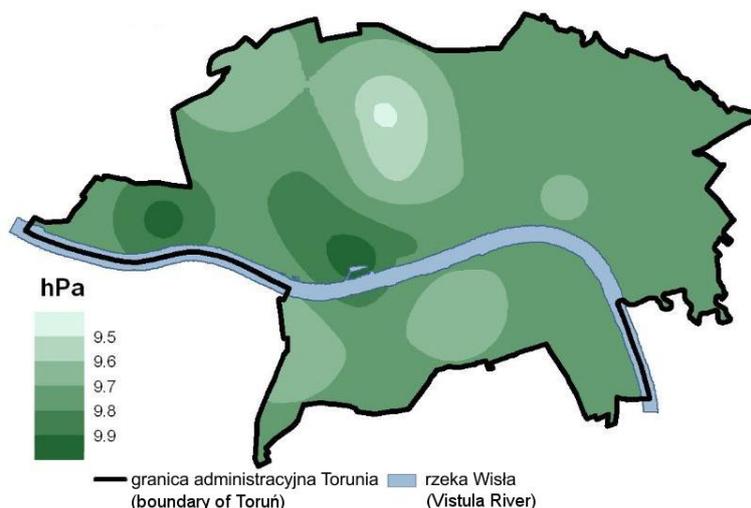
W przypadku wilgotności względnej w 2012 roku w Toruniu najmniejsze wartości średnie roczne obserwowane były w centrum miasta w punkcie LO1 (75%), natomiast najwyższe wartości wystąpiły w punktach CZB i LBI (82% w każdym z nich) (rys. 6). W przypadku ciśnienia pary wodnej, najwyższa średnia wartość wystąpiła w punktach SKM i ZOO i wyniosła 10,0 hPa. Najbardziej suchym miejscem w świetle ciśnienia pary wodnej jest północna część miasta, gdzie w punkcie WRZ jej średnia roczna wartość wy-

niosła tylko 9,4 hPa (rys. 7). Bardzo podobne wyniki uzyskano dla 1982 r. (patrz podrozdz. 1.2), a w przypadku wilgotności względnej nawet dokładnie te same (7%), gdy rozpatrywano różnice między centrum miasta a stacją referencyjną. Fakt ten, to jest zarówno brak zmian w natężeniu MWC, jak i zróżnicowania wilgotności powietrza między latami 1982 i 2012, wynika najprawdopodobniej z tego, iż starówka toruńska pod względem architektonicznym (zabudowy) nie uległa niemal żadnym zmianom.



Rys. 6. Rozkład przestrzenny średniej rocznej wilgotności względnej powietrza w Toruniu w 2012 roku (Uscka-Kowalkowska i in. 2014b, zmodyfikowane)

Spatial distribution of mean annual relative air humidity in Toruń in 2012 (Uscka-Kowalkowska *et al.* 2014b, modified)



Rys. 7. Rozkład przestrzenny średniego rocznego ciśnienia pary wodnej w Toruniu w 2012 roku (Uscka-Kowalkowska i in. 2014b, zmodyfikowane)

Spatial distribution of average annual water vapour pressure in Toruń in 2012 (Uscka-Kowalkowska *et al.* 2014b, modified)

Najmniejsza liczba dni wilgotnych ( $f \geq 86\%$ ) wystąpiła w centrum miasta, a największa na wschodzie i zachodzie (obszary leśne). W przypadku dni suchych ( $f \leq 55\%$ ) ich rozkład przestrzenny jest odwrotny. Największa liczba dni parnych ( $e \geq 18,8$  hPa) wystąpiła w centrum miasta oraz w jego zachodniej i wschodniej części (obszary leśne) (Uscka-Kowalkowska i in. 2014b).

Na podstawie badań przeprowadzonych w Toruniu w 2012 roku stwierdzono duże deformacje kierunku oraz zmniejszenie prędkości wiatru w stosunku do terenów podmiejskich. Uzyskane wyniki opublikowano w czasopiśmie *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* (Strzyżewski i in. 2015).

Na stacji referencyjnej (KON) rozkład częstości wiatru odpowiada temu, który jest obserwowany na tym terenie w wolnej atmosferze. W 2012 roku największą częstością charakteryzował się wiatr z kierunku WSW (12,7%) i SW (11,6%), natomiast najrzadziej notowany był wiatr ENE i NNW (odpowiednio 2,8 i 2,9%). Na stacjach miejskich róże wiatru były zdeformowane w stosunku do stacji referencyjnej. Deformacje te można podzielić na jednoosiowe (występuje silne wydłużenie wykresu wzdłuż dwóch naprzeciwległych kierunków – punkt BAR), dwuosiowe (silne wydłużenie wzdłuż dwóch par kierunków – punkty BOR, OME, ZOO) oraz związane z wyraźnym przesłonięciem części horyzontu stosunkowo blisko czujnika (MAN, RMA) (Strzyżewski i in. 2015).

Najniższe średnie prędkości wiatru odnotowano na terenach leśnych ( $0,2$  m·s<sup>-1</sup>) oraz parkowych ( $0,6$  m·s<sup>-1</sup>). Najwyższe natomiast wystąpiły na obszarze o zabudowie wielorodzinnej ( $1,1$  m·s<sup>-1</sup>) i na stacjach pozamiejskich.

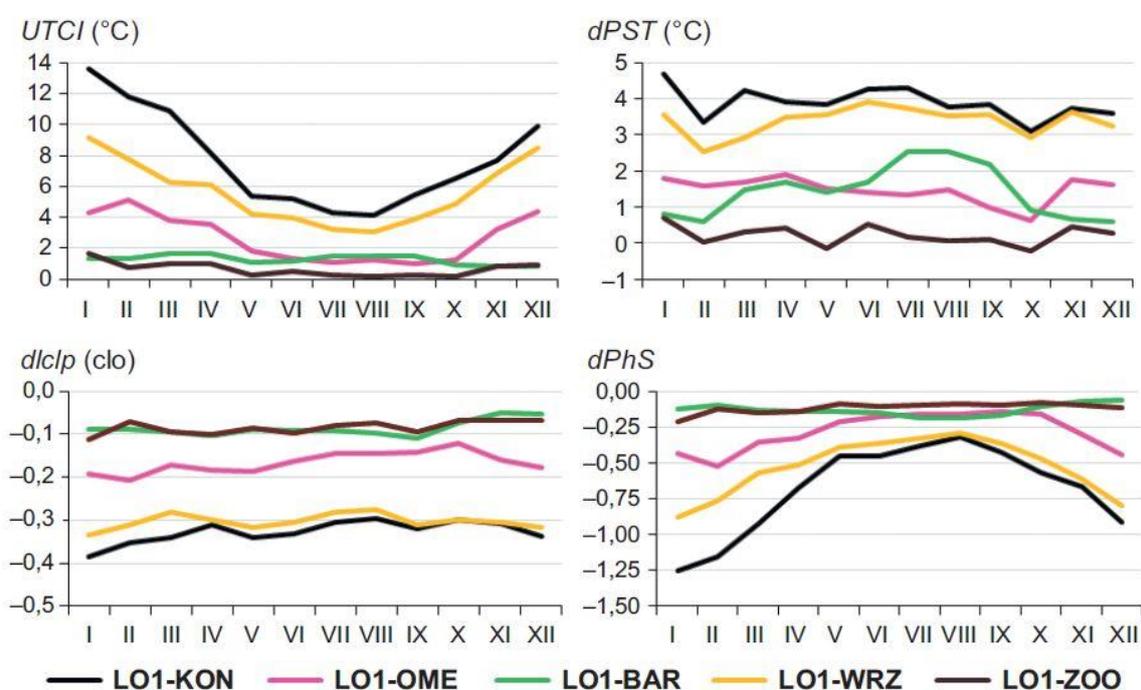
W ramach badań klimatu Torunia i okolicy, opracowano także warunki biometeorologiczne. Uzyskane wyniki opublikowano łącznie w dwóch artykułach w czasopismach *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Land Reclamation* (Araźny i in. 2015) i w *Przeglądzie Geograficznym* (Araźny i in. 2016). W pierwszym z wymienionych artykułów dokonano porównania przewidywanej izolacyjności odzieży w Toruniu (WRZ) i w jego strefie podmiejskiej (KON). Średnia roczna wartość tego wskaźnika w latach 1998–2012 w Toruniu wyniosła 1,0 clo, podczas gdy w Koniczynie była o 0,1 mniejsza. Wykazano, że w przebiegu rocznym największe różnice przewidywanej izolacyjności odzieży między dwoma badanymi punktami osiągają największe wartości zimą, a w pozostałych porach roku są porównywalne (Araźny i in. 2015). Należy jednak pamiętać, że w pracy tej porównano stację referencyjną w Koniczynie z punktem pomiarowym w Toruniu leżącym na obrzeżach miasta, a nie w jego centrum.

W osobnym artykule przedstawiono zróżnicowanie warunków biometeorologicznych na terenie Torunia w roku 2012 (Araźny i in. 2016). Do opracowania wykorzystano dane z 10 punktów leżących w różnych częściach miasta i w jego

strefie podmiejskiej. Warunki biometeorologiczne zostały przedstawione na podstawie czterech wskaźników: uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (UTCI), temperatury odczuwalnej fizjologicznie (PST), przewidywanej termozolacyjności odzieży (Iclp) oraz wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS). Największe różnice warunków biometeorologicznych stwierdzono pomiędzy punktem leżącym w samym centrum miasta na obszarze jego starówki (LO1) a punktem leżącym poza miastem, na terenie użytkowanym rolniczo (KON). Wykazano, że największe różnice warunków biometeorologicznych pomiędzy tymi punktami występują na ogół w styczniu, bądź w lutym (rys. 8 – Araźny i in. 2016). Cen-

trum miasta (LO1) w 2012 roku charakteryzowało się największą spośród innych stacji średnią wartością wskaźników UTCI i PST oraz najmniejszą wartością wskaźników Iclp oraz PhS. Przeciwnie ekstrema występowały na obszarze pozamiejskim w Koniczynie (KON). Uzyskane wyniki świadczą więc o wyraźnie widocznym wpływie miasta na warunki biometeorologiczne.

Na podstawie temperatury powietrza i jego wilgotności opracowano dla Torunia mapę topoklimatów. Łącznie wyróżniono 7 jego typów, układających się koncentrycznie wokół centrum miasta. Szczegółowa analiza tego problemu zostanie przedstawiona w odrębnej publikacji.



Rys. 8. Przebieg roczny średnich miesięcznych różnic wskaźników biometeorologicznych ( $dUTCI$ ,  $dPST$ ,  $dIclp$  i  $dPhS$ ) pomiędzy centrum miasta (LO1) a wybranymi punktami w Toruniu (OME, BAR, WRZ, ZOO) i na obszarze podmiejskim w Koniczynie (KON) w 2012 r. (Araźny i in. 2016)

Annual course of average monthly differences in biometeorological indices ( $dUTCI$ ,  $dPST$ ,  $dIclp$  and  $dPhS$ ) between the city centre (LO1) and selected points in Toruń (OME, BAR, WRZ, ZOO) and in the suburb of Koniczynka (KON) in 2012 (Araźny *et al.* 2016)

## Podsumowanie i uwagi końcowe

Historia badania klimatu miasta Torunia jest dość długa, bo liczy już 37 lat, jednak w latach 1993–2010 była przerwa w tych badaniach. Dlatego też w artykule wyróżniliśmy dwa zasadnicze okresy (1981–1993 i 2011–2018), kiedy badania klimatu miejskiego były intensywnie prowa-

dzone. Charakteryzowały się one znacząco odmienną liczbą punktów pomiarowych, stosowanymi przyrządami pomiarowymi i zakresem obserwacji. W pierwszym okresie stosowano klatki meteorologiczne (fot. 1) wyposażone w termometry rtęciowe (zwykły i ekstremalne) i samopisy (termohigrograf), a w drugim automatyczne stacje meteorologiczne (AWS) Vantage Pro+ firmy amerykańskiej Davis i rejestratory temperatury i wilgotności powietrza RHTemp101A firmy

MadgeTech umieszczone w osłonach radiacyjnych. Liczba punktów pomiarowych, wliczając stację meteorologiczną pracującą w ramach sieci IMGW-PIB, w okresie 2011–2018 była znacząco większa niż w okresie 1981–1993 (tab. 1, rys. 1 i 3). W ostatnim okresie szerszy był także zakres pomiarowy, oprócz temperatury i wilgotności powietrza badane były bowiem także następujące elementy meteorologiczne: promieniowanie całkowite, kierunek i prędkość wiatru oraz opady atmosferyczne.

Na podkreślenie zasługuje fakt, iż pomimo dużej różnicy czasu między obydwoma okresami badań klimatu miejskiego, zastosowania różnych przyrządów pomiarowych, a także znaczącego ocieplenia, które wystąpiło w tym czasie w Polsce i na świecie, miejska wyspa ciepła oraz rozkład przestrzenny wilgotności powietrza nie uległy zmianie. Różnice średnich rocznych wartości temperatury i wilgotności powietrza w obydwu badanych okresach między centrum miasta (punkt LO1) a stacją referencyjną (KON) wyniosły odpowiednio ok. 1°C i 7% (rys. 4–7). Brak zmian intensywności i rozkładu przestrzennego wilgotności powietrza między badanymi okresami wyłumaczyć można przede wszystkim brakiem istotnych zmian w zabudowie starówki toruńskiej w tym okresie.

Dopływ promieniowania całkowitego na terenie miasta Torunia był zgodny z oczekiwaniem. Największa jego suma roczna wystąpiła w strefie podmiejskiej Torunia (KON), natomiast najmniejsza w centrum miasta (LO1) i w terenie leśnym (BAR).

W wyniku badań kierunku i prędkości wiatru w Toruniu w 2012 r. stwierdzono występowanie 3 różnych typów deformacji jego kierunków w porównaniu do róży wiatru sporządzonej dla stacji referencyjnej (KON). Najniższe średnie prędkości wiatru, zgodnie z oczekiwaniem, odnotowano na terenach leśnych ( $0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) oraz parkowych ( $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a najwyższe w obszarze zabudowy wielorodzinnej ( $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) i na stacjach pozamiejskich.

Warunki biometeorologiczne zbadano przy wykorzystaniu czterech wskaźników biometeorologicznych: uniwersalnego wskaźnika obciążeń cieplnych (UTCI), temperatury odczuwalnej fizjologicznie (PST), przewidywanej termoizolacyjności odzieży (Iclp) oraz wskaźnika stresu termofizjologicznego (PhS). Centrum miasta (LO1) w 2012 roku charakteryzowało się największą, ze wszystkich badanych stacji, średnią wartością wskaźników UTCI i PST oraz najmniejszą wartością wskaźników Iclp oraz PhS.

Na podstawie temperatury i wilgotności powietrza wyróżniono w Toruniu 7 topoklimatów, układających się koncentrycznie wokół centrum miasta.

Katedra Meteorologii i Klimatologii planuje kontynuować w najbliższych latach badania klimatu miejskiego Torunia i je rozszerzać na wyższe warstwy atmosfery, podlegające wpływowi miasta.

## Literatura

- Arażny A., Uscka-Kowalkowska J., Kejna M. 2015. Comparison of the predicted insulation of clothing in Toruń and Koniczynka in the years 1998–2012. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation* 47, 1: 55–67.
- Arażny A., Uscka-Kowalkowska J., Kejna M., Przybylak R., Kunz M. 2016. Zróżnicowanie warunków biometeorologicznych w Toruniu i jego strefie podmiejskiej w 2012 r. *Przegląd Geograficzny* 88, 1: 87–108.
- Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. 2014. Miejska wyspa ciepła w Warszawie, uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne. Wydawnictwo Akademickie SED-NO, Warszawa: 1–171.
- Diabaté L., Blanc Ph., Wald L. 2004. Solar radiation climate in Africa. *Solar Energy* 76: 733–744.
- Drawska A. 1983. Przestrzenny i czasowy rozkład wilgotności powietrza na obszarze Torunia w 1982 r. Maszynopis pracy magisterskiej. Archiwum UMK w Toruniu.
- Dudek S., Kuśmierk R., Żarski J. 2008. Porównanie warunków termicznych Bydgoszczy i okolicy. W: K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.) *Klimat i bioklimat miast*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 157–164.
- Kejna M., Uscka-Kowalkowska J., Arażny A., Kunz M., Maszewski R., Przybylak R. 2014. Spatial differentiation of global solar radiation in Toruń and its suburban area (central Poland) in 2012. *Bulletin of Geography: Physical Geography Series* 7: 27–56.
- Kłysik K., Wibig J., Fortuniak K., Kafar M. 1995. Ocena wielkości miejskiej nadwyżki temperatury w Łodzi w okresie 1903–1930. W: K. Kłysik (red.) *Klimat i bioklimat miast*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 135–142.
- Kunz M., Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Maszewski R. 2012. Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia – założenia projektu i wstępne wyniki badań. *Roczniki Geomatyki* X, 3 (53): 85–94.
- Morris C.J.G., Simmonds I., Plummer N. 2001. Quantification of the influences of wind and cloud on

- the nocturnal urban heat island of large city. *Journal of Applied Meteorology* 40: 169-182.
- Przybylak R., Uscka-Kowalkowska J., Araźny A., Kejna M., Kunz M., Maszewski R. 2017. Spatial distribution of air temperature in Toruń (Central Poland) and its causes. *Theoretical and Applied Climatology* 127, 1: 441-463.
- Strzyżewski T., Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kejna M., Araźny A., Maszewski R. 2015. Zróżnicowanie kierunku i prędkości wiatru na obszarze Torunia (centralna Polska) w 2012 roku. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 67: 79-89.
- Szymanowski M. 2004. Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu. *Acta Universitatis Wratislaviensis No 2690, Studia Geograficzne* 77: 1-229.
- Uscka-Kowalkowska J. 2013. An analysis of the extinction of direct solar radiation on Mt. Kasprowy Wierch, Poland. *Atmospheric Research* 134: 175-185.
- Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kejna M., Araźny A., Kunz M., Maszewski R. 2014a. Raport końcowy z realizacji projektu badawczego NCN nr N N306 723040, maszynopis.
- Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kunz M., Maszewski R., Araźny A., Kejna M. 2014b. Zróżnicowanie wilgotności powietrza na terenie Torunia w 2012 roku. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 66: 393-409.
- Wójcik G., Marciniak K. 1983. Zróżnicowanie przestrzenne stosunków termicznych na obszarze Torunia przy różnych sytuacjach pogodowych. *Materiały Zjazdu Geografów Polskich, Toruń, UMK, 15-18 września 1983 r.*: 171.
- Wójcik G., Marciniak K. 1984. Zróżnicowanie stosunków termicznych na obszarze Torunia. *Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji nt. Klimat i bioklimat miast, Łódź, 22-24 listopada 1984 r. Uniwersytet Łódzki, Łódź*: 100-106.
- Wójcik G., Marciniak K. 1991. Monitoring klimatu miejskiego Torunia. *Seminarium Kompleksowy Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Szczecinek-Storkowo, 10-11 X 1991, Streszczenia referatów*: 26.
- Wójcik G., Marciniak K. 2007. *Badania klimatu miejskiego w Toruniu*. W: R. Przybylak, M. Kejna, K. Marciniak (red.) *Działalność naukowa i dydaktyczna Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii UMK w latach 1947–2007*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń: 66-68.
- Nicolaus Copernicus University. In the first period (1981–1993), measurements were carried out at significantly fewer points (Figs 1 and 2) and covered a narrower scope than in the second period (from 2011). The measurement equipment was also significantly different; in the first period Stevenson screens were used (Fot. 1) with mercury thermometers (standard and extreme) and recording drums (thermohygrographs), and, in the second period, American Davis Vantage Pro+ automatic weather stations (AWS) and MadgeTech RHTemp101A air temperature and humidity recorders in radiation shields. There were automatic stations operating at 12 measurement points and recorders at 13 points. Instrument sensors were placed at a height of 2 m above ground level. All the above-mentioned 25 measurement points (except one, i.e. the Meteorological Observatory of the Department of Meteorology and Climatology of Nicolaus Copernicus University) were established in 2011 as part of the NCN research project entitled ‘Zróżnicowanie klimatów lokalnych Torunia w zależności od czynników naturalnych i antropogenicznych’ (*The diversity of local climates of Toruń depending on natural and anthropogenic factors*). In addition, the Toruń climate survey also employed meteorological data from the ZMŚP Koniczynka suburban station (reference station), where measurements were carried out using a Vaisala Milos 500 automatic meteorological station, and the Regional Hydrological and Meteorological Station of the Institute of Meteorology and Water Management in Toruń, which is equipped with a Vaisala automatic meteorological station. The measurement network is designed such that individual points represent areas of different land cover types. After the research project was completed in 2014, the number of measuring points was reduced to 12 (including permanent points).
- The measurements carried out in Toruń in 2011–2018 made it possible to analyse the spatial distribution and annual course of selected elements of the city's climate (Figs 3–8). The research results have been published in articles, including on the spatial differentiation of: total insolation (Kejna *et al.* 2014); air temperature (Przybylak *et al.* 2017); air humidity (Uscka-Kowalkowska *et al.* 2014b); wind direction and speed (Strzyżewski *et al.* 2015); and biometeorological conditions (Araźny *et al.* 2015, 2016).
- Detailed analyses to date on the same type of meteorological data for Toruń in 1982 and 2012 have confirmed the existence of an urban heat island (UHI) and significant differences in the

## Summary

The article presents the history of research into the urban climate of Toruń that was initiated in 1981 and has been conducted up to the present day (with a break in the years 1994–2010) by the Department of Meteorology and Climatology of

spatial distribution of air humidity. In both examined periods, the differences in mean annual air temperature and humidity between the city centre (point LO1) and the reference station (KON) were approximately 1°C and 7%, respectively. The lack of changes in UHI intensity and spatial distribution of air humidity between the analysed years can primarily be explained by the lack of significant changes in the urban development of Toruń's Old Town during this period.

The spatial distributions of incoming solar radiation and wind direction and speed in Toruń in 2011–2018 were also studied. In 2012, the highest total annual global solar radiation occurred in a suburb of Toruń (KON), while the lowest was in the city centre (LO1) and the forested area (BAR). Large differences in global solar radiation by terrain coverage were also recorded in the annual course. In winter (December) the total global solar radiation in the city centre (LO1) was almost half that of outside the city (KON). In the summer (June) the difference was not so large.

In Toruń, the wind roses were significantly different from those in the reference station (KON) where the distribution of wind directions was undisturbed. Uniaxial deformations were distinguished (with the graph being heavily elongated along two opposite directions at the BAR measurement point), as well as biaxial deformations (heavy elongation along two pairs of directions at BOR, OME and ZOO points) and deformations associated with a clear obscuring of part of the horizon relatively close to the sensor (MAN, RMA). The lowest average wind speeds were recorded in forested areas ( $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and park areas ( $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). The highest, however, occurred in areas of multi-occupancy residential buildings ( $1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and at extra-urban stations.

On the basis of statistical analysis of temperature and air humidity, a topoclimate map was developed for Toruń. In total, seven types were distinguished, radiating concentrically from the city centre.