

Zróznicowanie warunków biometeorologicznych w Toruniu i jego strefie podmiejskiej w 2012 r.

Diversity of biometeorological conditions in Toruń and its suburban area in 2012

**ANDRZEJ ARAŻNY, JOANNA USCKA-KOWALKOWSKA,
MAREK KEJNA, RAJMUND PRZYBYŁAK**

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
87-100 Toruń, ul. Lwowska 1;
andy@umk.pl, joannauk@umk.pl, makej@umk.pl, rp11@umk.pl

MIECZYŚLAW KUNZ

Katedra Geomatyki i Kartografii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
87-100 Toruń, ul. Lwowska 1; met@umk.pl

Zarys treści. W pracy dokonano oceny zróżnicowania przestrzennego warunków biometeorologicznych w Toruniu i w jego strefie podmiejskiej w 2012 r. Wykorzystano dane meteorologiczne z 10 stacji automatycznych zlokalizowanych w różnych typach pokrycia i użytkowania terenu. Do analizy użyto danych o rozdzielczości godzinnej następujących elementów meteorologicznych: temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$), promieniowania całkowitego ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), wilgotności względnej powietrza (%) i prędkości wiatru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Na ich podstawie obliczono następujące wskaźniki biometeorologiczne: uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (*UTCI*), temperaturę odczuwaną fizjologicznie (*PST*), przewidywaną termoizolacyjność odzieży (*Iclp*) oraz wskaźnik stresu termofizjologicznego (*PhS*). Największe różnice warunków biometeorologicznych stwierdzono między centrum Torunia (punkt LO1 położony na terenie średniowiecznej starówki) i terenem podmiejskim (punkt KON na obszarze użytkowanym rolniczo w Koniczynie). W przebiegu rocznym największe różnice między tymi dwoma stanowiskami (LO1-KON) występowały dla: *UTCI* w styczniu ($13,6^{\circ}\text{C}$), *PST* w styczniu ($4,7^{\circ}\text{C}$), *Iclp* (dla człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym) w styczniu i lutym ($-0,4$ clo) oraz *PhS* w styczniu ($-1,3$). Informacje o warunkach biometeorologicznych Torunia i jego strefy podmiejskiej są ważne dla jego mieszkańców oraz turystów.

Słowa kluczowe: bioklimat miasta, organizm człowieka, wskaźniki biometeorologiczne, Toruń, Koniczynka.

Wstęp

Miasta wyróżniają się specyficznymi warunkami klimatycznymi i bioklimatycznymi. Obserwuje się w nich m.in.: zwiększone zanieczyszczenie powietrza, zjawisko miejskiej wyspy ciepła, bryzy miejskiej, efekt kurtynowy, efekt tunelowy

wy, efekt wysuszenia, mniejszy dopływ promieniowania słonecznego, większe zachmurzenie, zjawisko domestykacji, deficytu tlenu i inne (Lewińska, 2000; Landsberg, 1981). Jest to skutkiem łącznego oddziaływania czynników makroskalowych i mezoskalowych (np. cyrkulacji atmosferycznej, położenia w danej strefie klimatycznej) oraz specyficznych lokalnych czynników – naturalnych i antropogenicznych.

W Polsce około 60% ludności mieszka w miastach (<http://stat.gov.pl>). Toruń jest jednym z większych miast, liczy 209 tys. mieszkańców. Jego centralną część stanowi średniowieczna starówka zbudowana w stylu gotyckim, położona na prawym brzegu Wisły. Gród Kopernika jest corocznie licznie odwiedzany przez turystów (blisko 1,7 mln osób, w tym około 240 tys. z noclegiem – za: www.torun.pl). Dookoła Starego Miasta powstały nowe dzielnice o zróżnicowanym typie zabudowy i pełnionych funkcji. Toruń jest miastem o wysokich walorach krajobrazowych i przyrodniczych, m.in. ze względu na zróżnicowanie warunków bioklimatycznych oraz jakość powietrza atmosferycznego.

Liczne miasta w Polsce doczekały się opracowań warunków bioklimatycznych, np.: Warszawa (Błażejczyk, 2002; Błażejczyk i inni, 2003, 2014), Kraków (Hess i inni, 1989; Mroccka, 1992; Niedźwiedź i inni, 1996; Błażejczyk i Twardosz, 2010; Matuszko i Piotrowicz, 2007), aglomeracja gdańska (Nurek i inni, 1992; Michalski i Malinowska, 2002), Wrocław (Sikora, 2008), Łódź (Kłysik i inni, 1995; Kożuchowski i inni, 2000; Papiernik, 2004), Szczecin (Chabior, 2008, 2011), Poznań (Półrolniczak, 2010), Lublin (Mrugała, 1992; Wereski i inni, 2010; Nowosad i inni, 2013), Gdynia (Owczarek, 2003) czy Kielce (Żarnowiecki i Szalach, 2001; Żarnowiecki, 2002; Olszewski i inni, 2003). Stan wiedzy na temat bioklimatu Torunia jest skromny, składa się nań tylko krótkie streszczenie G. Wójcika i V. Rzepki-Urbańskiej (1997) oraz opracowanie A. Arażnego i innych (2015). W tym ostatnim przedstawiono porównanie przewidywanej izolacyjności odzieży w Toruniu i jego strefie podmiejskiej.

Brak kompleksowego opracowania warunków bioklimatycznych Torunia wymaga uzupełnienia. Celem niniejszego artykułu jest pierwsza szczegółowa analiza rozkładu przestrzennego warunków biometeorologicznych w Toruniu.

Materiały i metody

Zróżnicowanie przestrzenne warunków biometeorologicznych Torunia w 2012 r. zbadano na podstawie danych z 10 punktów reprezentujących miejsca o różnym charakterze przekształceń antropogenicznych (tab. 1, ryc. 1). Najbardziej na północ wysuniętym stanowiskiem pomiarowym, reprezentującym strefę pozamiejską, jest oddalona o 9 km od centrum Torunia Stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Koniczynie. Brak czynników antropogenicznych wprowadzających zmiany środowiskowe powoduje, że stacja w Koniczynie dobrze nadaje się do wyznaczania anomalii w polu różnych

Tabela 1. Charakterystyka punktów pomiarowych wykorzystanych w opracowaniu
Overview of measurement sites used in the study

Nr No	Symbol Symbol	Adres Address	Współrzędne Coordinates WGS-84		H [m n.p.m.]	SVF		Strefa / Zone	
						zima winter	lato summer	LCZs	LUBZ
1	KON	Koniczynka	53 04 50,16	18 41 02,40	88,1	0,972	0,964	D	A
2	BAR	Toruń, Barbarka	53 03 12,53	18 32 25,86	58,6	0,728	0,663	A	F
3	WRZ	Toruń, Storczykowa 124	53 02 31,01	18 35 44,81	69,0	0,964	0,956	9C	SHF
4	SAL	Toruń, Storczykowa 66a	53 02 27,94	18 35 36,01	69,8	0,931	0,924	9C	HFS
5	RMA	Toruń, Żwirki i Wigury 80	53 01 42,48	18 36 14,54	64,2	0,856	0,743	5D	GBH
6	OME	Toruń, Lwowska 1	53 01 17,83	18 34 02,29	50,3	0,952	0,938	6	IFG
7	LO1	Toruń, Zaulek Prosowy 1	53 00 41,94	18 36 27,06	49,0	0,632	0,641	2	RCI
8	ZOO	Toruń, Rybaki	53 00 30,89	18 35 20,55	46,1	0,881	0,852	5	GBI
9	BOR	Toruń, Komorowskiego- -Bora 7	52 59 53,07	18 37 28,71	47,5	0,936	0,937	6	HGF
10	MAN	Toruń, Toruńska 2a	52 59 27,03	18 33 37,37	39,3	0,931	0,906	6D	AG

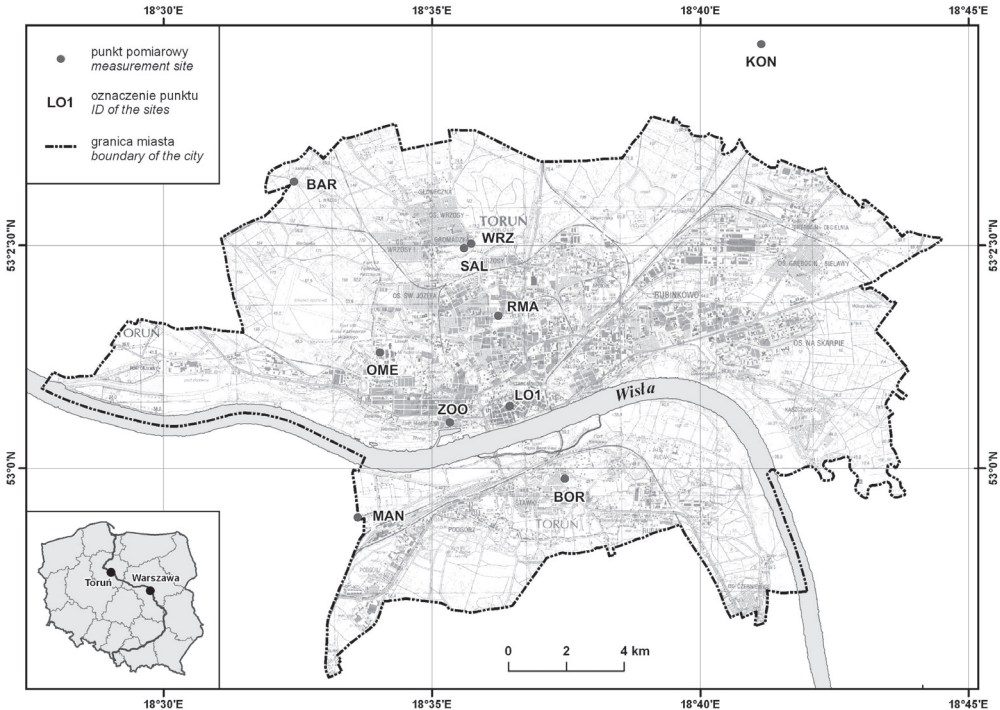
SVF – współczynnik widoku nieba; LCZs – strefy klimatów lokalnych (wg Stewart i Oke, 2012); LUBZ – strefy pokrycia i użytkowania terenu (kolejność liter w zależności od wielkości obszaru pokrycia i użytkowania terenu): C – zabudowa typu śródmiejskiego, H – zabudowa jednorodzinna, B – zabudowa blokowa; I – zabudowa przemysłowo-magazynowa; R – tereny przemysłowo-budowlane i drogowo-kolejowe, S – tereny piaszczyste, żwirowe, grunty odsłonięte; F – lasy i inne zadrzewienia; G – zarośla, krzewy, roślinność trawiasta, ogródki działkowe, sady, plantacje; A – uprawy na gruntach ornych.

SVF – sky view factor; LCZs – local climate zones (after Stewart and Oke, 2012); LUBZ – land use buffer zone (the order of letters is in line with the magnitude of land use/cover area): C – city centre buildings and structures, H – single-family homes, B – blocks of flats, I – industrial developments and warehouses, R – construction sites, industrial, road and railway land, S – sand, gravel and open ground, F – woodland or other tree stands, G – scrub, bushes, grass, allotments, orchards and plantations, A – crops on arable land.

Tabele 1-6 – opracowanie własne. / Tables 1-6 – authors' own calculations.

wskaźników biometeorologicznych związanych z obecnością miasta. Pozostałe stanowiska pomiarowe zlokalizowano na terenie Torunia: w centrum na Starym Mieście o gęstej zabudowie gotyckiej (LO1), w zabudowie jednorodzinnej (SAL, WRZ, BOR), w zróżnicowanej zabudowie wielorodzinnej (OME), na osiedlu

o zróżnicowanej zabudowie (RMA) oraz na terenie parkowym (ZOO), leśnym (BAR) i podmiejskim (MAN). Do rejestracji wybranych parametrów meteorologicznych wykorzystano automatyczne stacje meteorologiczne (na WRZ i KON stacje Vaisala, a na pozostałych 8 stanowiskach stacje Vantage Pro+ firmy Davis). Pomiary wykonywano w czasie CET (UTC+1 godz.).



Ryc. 1. Lokalizacja wykorzystanych w opracowaniu punktów pomiarowych w Toruniu

Opracowanie własne, podobnie jak pozostałe ryciny.

Locations of the measurement sites used in the study on Toruń

Authors' own elaboration (as well as in the case of other figures).

Do analizy wykorzystano dane o rozdzielczości godzinnej dotyczące: temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$), natężenia promieniowania całkowitego ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), wilgotności względnej powietrza (%) i prędkości wiatru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Prędkość wiatru przeliczono według wzoru T. Liopo i G. Cicenka (1971) z wysokości pomiarowych na poziom 1,2 m, który odpowiada poziomowi tułowia człowieka. Na podstawie powyższych danych, wykorzystując program komputerowy BioKlima 2.6 (<http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>) obliczono wskaźnik biometeorologiczny – przewidywaną termoizolacyjność odzieży (I_{clp} , clo) oraz wskaźniki biotermiczne: uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych ($UTCI$, $^{\circ}\text{C}$), temperaturę

odczuwaną fizjologicznie (PST , °C) i wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS , bezwymiarowy). Obliczenia wykonano w odniesieniu do człowieka z metaboliczną produkcją ciepła $M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (co odpowiada marszowi z prędkością 4 km na godzinę). W artykule obliczono m.in. częstość różnych kategorii wymienionych wskaźników z wartości co godzinę.

Szczegółowy opis wskaźników użytych w niniejszym opracowaniu znajduje się m.in. w publikacjach K. Błażejczyka (2004) oraz K. Błażejczyka i A. Kunert (2011).

Dla wszystkich punktów pomiarowych obliczono współczynnik widoku nieba (SVF) w okresie zimy i lata (tab. 1). Wartości SVF obliczono na podstawie cyfrowych zdjęć typu „rybie oko” przy użyciu programu BMSky-view zaproponowanego przez M. Rzepę i innych (2006).

Wokół każdego punktu pomiarowego obszar w promieniu 500 m został przypisany do jednej lub więcej lokalnych stref klimatu lokalnego (LCZs) według propozycji I.D. Stewart i T.R. Oke (2012) (tab. 1). Ta klasyfikacja została stworzona dla miast amerykańskich i nie wydaje się w pełni odpowiednia wobec starych miast europejskich, w szczególności założonych w czasach średniowiecza. Miasta te zwykle charakteryzuje krajobraz antropogeniczny. Dlatego autorzy w niniejszym artykule zaproponowali własną klasyfikację stref pokrycia i użytkowania terenu (LUBZ) w promieniu 500 m wokół każdego z punktów. Symbole i objaśnienia kategorii pokrycia/użytkowania terenu podano w tabeli 1.

Wyniki i dyskusja

Ogólne warunki meteorologiczne

Napływ mas powietrza do środkowej Polski uzależniony jest od rozkładu ośrodków barycznych nad Europą. W badanym roku 2012 Toruń znajdował się w zasięgu układów wysokiego ciśnienia nieco częściej (50%) w porównaniu z układami niskiego ciśnienia (46%). Dominował napływ powietrza z sektora zachodniego (Uscka-Kowalkowska i inni, 2014). Rok ten charakteryzowało mniejsze zachmurzenie (5,2 w skali 0-8) w porównaniu do średniej z lat 1951-2000 (5,4) oraz większym usłonecznieniem (w Toruniu 1807,4 godz. przy średniej z okresu 1961-2000 równej 1591,2 godz. – Wójcik i Marciniak, 2006).

Jak wykazały badania M. Kejny i innych (2014), w Toruniu i jego strefie podmiejskiej występuje znaczne zróżnicowanie dopływającego promieniowania słonecznego. W Koniczynie k. Torunia suma roczna promieniowania całkowitego wyniosła $3570,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$, natomiast w mieście wahała się od $2564,1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (LO1) do $3670,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (BOR). Różnice te wynikają głównie z zasłonięcia horyzontu (tab. 1).

Rok 2012 w Toruniu był cieplejszy o $0,5^\circ\text{C}$ od normy wieloletniej z okresu 1966-2000 (tab. 2). W przebiegu rocznym największe anomalie dodatnie wystąpiły w marcu i listopadzie ($2,3\text{-}2,5^\circ\text{C}$), a największe ujemne w lutym ($-4,4^\circ\text{C}$) w stosunku do średniej wieloletniej. W 2012 r. średnia roczna wartość miejskiej wyspy ciepła w Toruniu wyniosła $1,0^\circ\text{C}$ (Przybylak i inni, 2015).

Wilgotność względna była o 1% niższa w porównaniu do okresu wieloletniego (tab. 2). Największe różnice wystąpiły wiosną od marca do maja, kiedy to w każdym miesiącu wilgotność względna była o 5 do 7 % niższa od średniej wieloletniej (Uscka-Kowalkowska i inni, 2014).

Tabela 2. Przebieg roczny temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru w Toruniu (IMGW – Wrzosy) w 2012 r. na tle wielolecia 1966-2000

Annual courses for air temperature, humidity and wind speed values in Toruń (IMWM Wrzosy) in 2012, and in the multiannual period 1966-2000

Okres / Period	Miesiące / Months												I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Temperatura powietrza / Air temperature (°C)													
a (2012)	-0,4	-5,4	5,1	9,2	15,1	15,8	19,4	18,6	14,0	8,2	5,5	-2,1	8,6
b (1966-2000)	-2,1	-1,0	2,6	7,5	13,2	16,4	18,0	17,7	13,1	8,5	3,2	-0,4	8,1
a-b	1,7	-4,4	2,5	1,7	1,9	-0,6	1,4	0,9	0,9	-0,3	2,3	-1,7	0,5
Wilgotność względna / Relative humidity (%)													
a (2012)	89	84	74	65	63	74	75	72	77	85	89	88	78
b (1966-2000)	87	84	79	73	70	72	73	73	80	84	88	89	79
a-b	2	0	-5	-8	-7	2	2	-1	-3	1	1	-1	-1
Prędkość wiatru / Wind speed (m·s ⁻¹)													
a (2012)	3,1	2,6	2,8	2,8	2,6	2,3	2,2	2,1	2,1	2,2	2,6	2,7	2,5
b (1966-2000)	3,2	3,1	3,3	3,0	2,8	2,6	2,5	2,3	2,5	2,8	3,1	3,0	2,8
a-b	-0,1	-0,5	-0,5	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,2	-0,4	-0,6	-0,5	-0,3	-0,3

Średnia roczna prędkość wiatru na wysokości 10 m wyniosła 2,5 m·s⁻¹ i była niższa o 0,3 m·s⁻¹ od średniej wieloletniej 1966-2000. Przebieg roczny średniej prędkości wiatru w 2012 r. był typowy, z największymi wartościami w chłodnej porze roku. Wszystkie miesiące miały niższe wartości (od 0,1 w styczniu do 0,6 m·s⁻¹ w październiku) w stosunku do średnich miesięcznych wieloletnich (tab. 2). Wystąpiło również znaczne zróżnicowanie lokalne kierunku i prędkości wiatru, z najmniejszymi prędkościami w centrum miasta (Strzyżewski i inni, 2015).

Uniwersalny wskaźnik obciążeń cieplnych (UTCI)

Za pomocą wskaźnika *UTCI* (°C) oceniono obciążenia cieplne organizmu człowieka. *UTCI* jest definiowany jako ekwiwalentna temperatura powietrza, przy której w warunkach referencyjnych podstawowe parametry fizjologiczne organizmu przyjmują takie same wartości jak w warunkach rzeczywistych (Błażejczyk i inni, 2010; Błażejczyk i Kunert, 2011). Wskaźnik określa rodzaj reakcji fizjologicznych, jakie zachodzą w danych warunkach atmosferycznych.

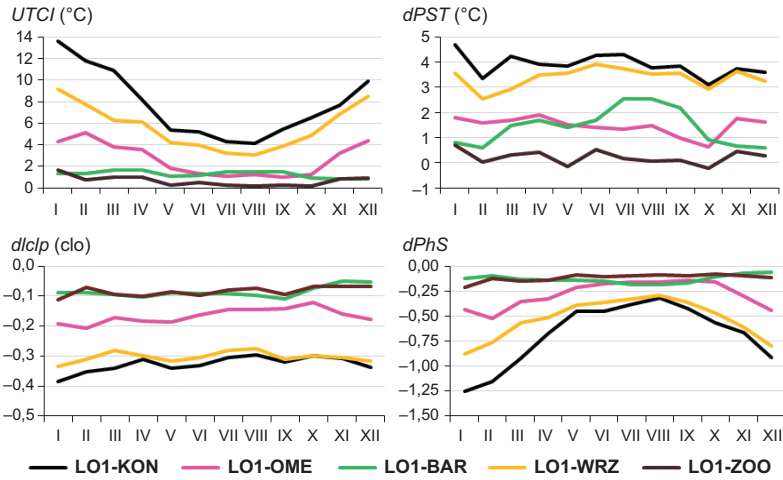
Największe różnice warunków biometeorologicznych według wskaźnika *UTCI*, stwierdzono między centrum Torunia (punkt LO1 na terenie średnio-wiecznej starówki) i terenem podmiejskim (Koniczynka na obszarze użytkowa-nym rolniczo). Średnie roczne wartości *UTCI* zmieniały się od 1,4°C w KON do 9,2°C w LO1 (tab. 3). W przebiegu rocznym kategorii obciążenia cieplnego organizmu wahały się od „silnego stresu zimna” (w styczniu i lutym w KON oraz w lutym na WRZ) do „braku obciążeń cieplnych” (od maja do września na wszystkich analizowanych stacjach; a w LO1 jeszcze w kwietniu) (tab. 3). W ciągu roku największą średnią miesięczną różnicę (13,6°C) na całym obszarze stwierdzono w styczniu między stanowiskami LO1 i KON (ryc. 2).

Tabela 3. Średnie miesięczne wartości *UTCI* na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

Mean monthly values for the *UTCI* at the Toruń sites and the suburban area in Koniczynka, in 2012

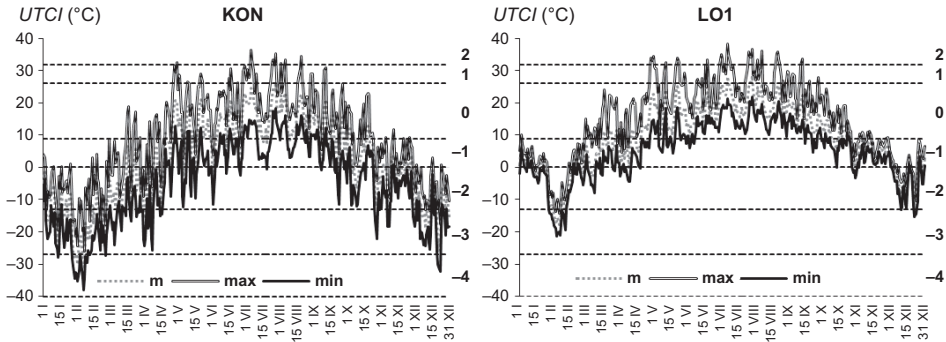
Stacja <i>Station</i>	Miesiące / Months												I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
KON	-14,5	-17,8	-5,6	1,6	10,9	12,1	17,2	15,9	9,9	2,2	-2,1	-12,7	1,4
BAR	-2,2	-7,4	3,7	8,2	15,2	16,1	20,0	18,5	13,9	7,8	4,7	-3,7	7,9
WRZ	-10,0	-13,8	-0,9	3,7	12,1	13,3	18,3	17,0	11,5	3,9	-1,3	-11,3	3,5
SAL	-8,2	-12,1	1,7	6,3	14,1	15,4	20,2	18,6	13,6	6,5	1,7	-7,3	5,9
RMA	-4,0	-8,3	3,3	8,2	15,5	15,9	20,4	19,2	14,5	7,7	3,8	-4,7	7,6
OME	-5,2	-11,2	1,6	6,2	14,4	15,9	20,4	18,7	14,4	7,5	2,3	-7,2	6,5
LO1	-0,9	-6,0	5,3	9,8	16,3	17,3	21,5	20,0	15,4	8,7	5,5	-2,8	9,2
ZOO	-2,6	-6,8	4,3	8,8	16,1	16,8	21,2	19,8	15,1	8,5	4,7	-3,7	8,5
BOR	-5,1	-9,5	2,7	7,2	15,1	15,8	20,3	19,0	13,7	6,9	3,2	-5,8	7,0
MAN	-6,3	-10,3	1,1	6,0	14,4	15,3	19,9	18,5	13,4	6,6	1,8	-7,1	6,1

W przypadku wartości terminowych wskaźnika zaznaczyło się wyraźnie większe zróżnicowanie wartości minimalnych niż maksymalnych. Zimą (I, II i XII) wartości $UTCI_{\min}$ wahały się od -38,1°C w KON do -21,3°C w LO1 (zakres zmienności około 17°C), natomiast latem (VI-VIII) $UTCI_{\max}$ zmieniała się od 35,5°C w BAR do 38,2°C w LO1 (zakres zmienności około 3°C). Podobne różnice pomiędzy letnimi i zimowymi ekstremami *UTCI* stwierdzili na obszarze Europy K. Błażejczyk i A. Kunert (2010) i w Polsce M. Kuchcik i inni (2013). Wartości $UTCI_{\min}$ wskazują m.in. na konieczność ochrony kończyn i twarzy przed wychłodzeniem oraz pożądane zwiększenie termoizolacyjności odzieży. Zanotowane w Toruniu skrajne wartości $UTCI_{\max}$ mieszczące się w przedziale 38,1-46,0 °C, świadczą o możliwości wystąpienia w centrum Torunia „bardzo silnego stresu ciepła” (ryc. 3). Podobne duże wartości *UTCI* notowano w innych polskich mia-



Ryc. 2. Przebieg roczny średnich miesięcznych różnic wskaźników biometeorologicznych ($dUTCI$, $dPST$, $dlclp$ 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.

Annual course for mean monthly differences in biometeorological indices ($dUTCI$, $dPST$, $dlclp$ and $dPhS$) between selected sites in Toruń (LO1, OME, BAR, WRZ) and in the suburban area in Koniczynka (KON), in 2012



Ryc. 3. Przebieg roczny wskaźnika $UTCI$ na stacji w centrum Torunia (LO1) i na terenie podmiejskim (KON) w 2012 r.

Średnie (m), maksymalne (max) i minimalne (min) dobowe wartości $UTCI$; 2 – silny stres ciepła, 1 – umiarkowany stres ciepła, 0 – brak stresu cieplnego, -1 – łagodny stres zimna, -2 – umiarkowany stres zimna, -3 – silny stres zimna, -4 – bardzo silny stres zimna;

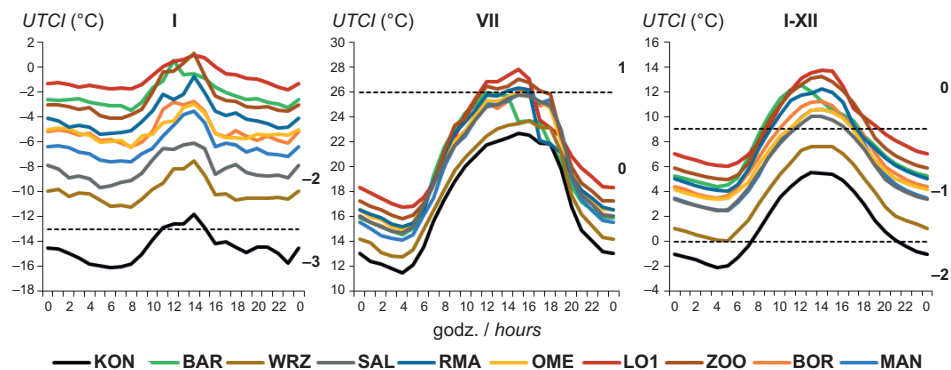
Annual course of $UTCI$ at the central site in Toruń (LO1) and at the suburban site (KON) in 2012

Mean (m), maximum (max) and minimum (min) diurnal values of $UTCI$; 2 – strong heat stress, 1 – moderate heat stress, 0 – no thermal stress, -1 – slight cold stress, -2 – moderate cold stress, -3 – strong cold stress, -4 – very strong cold stress

stach, np. w Warszawie (Błazejczyk i inni, 2014). W takich sytuacjach konieczne jest uzupełnianie płynów w ilości $>0,5$ litra na godz., a okresowo pożądane jest ograniczenie wysiłku fizycznego i korzystanie z miejsc zacienionych lub pomieszczeń klimatyzowanych.

Na analizowanym obszarze najczęściej występował „brak obciążeń cieplnych” – od 30% w KON do 45% w LO1. „Łagodny stres zimna” stanowił od 22% w KON do 32% w LO1 i BAR, a „umiarkowany stres zimna” od 15% w LO1 do 31% w WRZ. W KON, WRZ, SAL, OME i MAN pojawiały się dni z „bardzo silnym stresem zimna”. Obciążenie „bardzo silny stres ciepła” wystąpiło tylko na stacji w centrum miasta w LO1.

W przebiegu dobowym *UTCI* w lipcu amplitudy dobowe wahały się od $10,9^{\circ}\text{C}$ (OME) do $11,8^{\circ}\text{C}$ (MAN). Maksymalne wartości notowano najczęściej od 13.00 do 16.00 (ryc. 4), kiedy obserwujemy w przebiegu dobowym największą dynamikę powietrza. W uśrednionym przebiegu w ciągu całej doby w lipcu dominował „brak stresu cieplnego”. Tylko w godzinach popołudniowych w LO1, ZOO, RMA i BOR przeważnie występował „umiarkowany stres ciepła”, w styczniu zaś amplitudy dobowe *UTCI* były blisko 3 razy mniejsze (od $2,8^{\circ}\text{C}$ w LO1 do $5,2^{\circ}\text{C}$ w ZOO). W środku zimy maksimum w przebiegu dobowym przypadało na godziny 11.00-15.00. W średnim przebiegu dobowym tylko na stacji KON występowały 2 kategorie stresu cieplnego: „umiarkowany stres zimna” w godzinach 11.00-15.00 oraz „silny stres zimna” w pozostałych. Na innych stacjach średnie obciążenie cieplne mieściło się w kategorii „umiarkowany stres zimna” (ryc. 4).



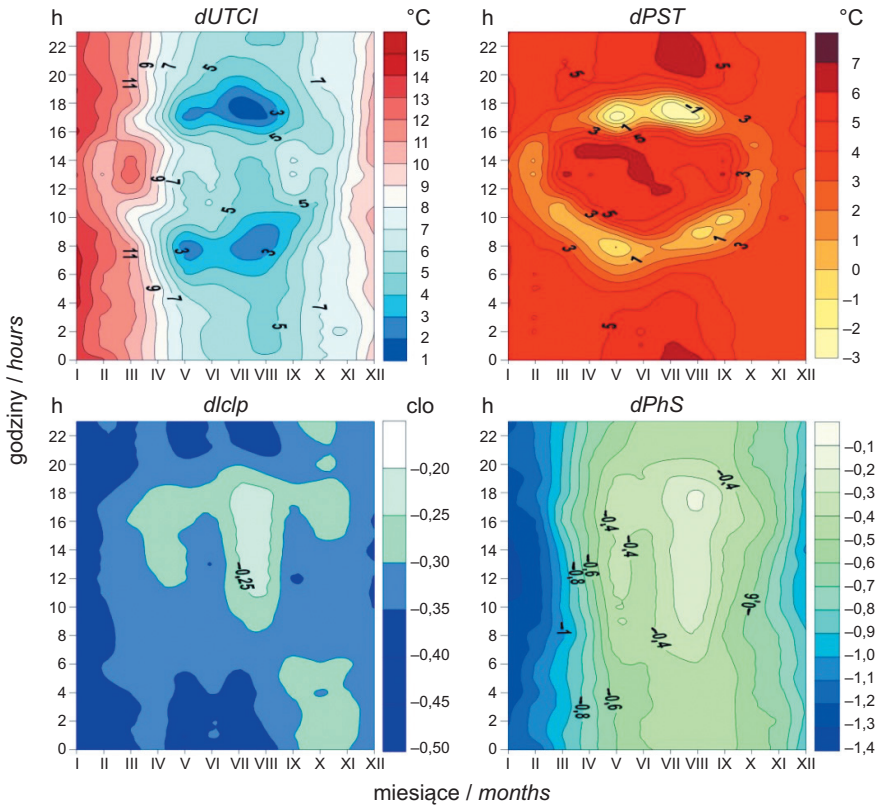
Ryc. 4. Uśrednione dla stycznia (I), lipca (VII) i roku (I-XII) przebiegi dobowe wskaźnika *UTCI* na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

1 – umiarkowany stres ciepła, 0 – brak stresu cieplnego, -1 – łagodny stres zimna,
-2 – umiarkowany stres zimna, -3 – silny stres zimna.

Averaged diurnal courses of *UTCI* for January (I), July (VII) and whole year (I-XII) at the Toruń sites and the suburban site at Koniczynka in 2012

1 – moderate heat stress, 0 – no thermal stress, -1 – slight cold stress,
-2 – moderate cold stress, -3 – strong cold stress.

Na rycinie 5 przedstawiono różnice obciążeń cieplnych organizmu człowieka między stacją LO1 na starówce a terenem podmiejskim KON, w cyklu rocznym i dobowym. Największe różnice *UTCI*, przekraczające 14°C, stwierdzono w styczniu w godzinach rannych i popołudniowych, natomiast najmniejsze (<4°C) – w tej samej porze dnia, od maja do sierpnia.



Ryc. 5. Przebieg roczny i dobowy różnic wartości wskaźników biometeorologicznych (*dUTCI*, *dPST*, *dIcIcP* i *dPhS*) między centrum Torunia (LO1) a obszarem podmiejskim w Koniczynie (KON) w 2012 r.

Annual and diurnal course for differences in biometeorological indices (*dUTCI*, *dPST*, *dIcIcP* and *dPhS*) between the centre of Toruń (LO1) and the suburban area in Koniczynka (KON), in 2012

Temperatura odczuwana fizjologicznie (*PST*)

Subiektywne odczuwanie, przez mieszkańców Torunia i turystów, warunków termicznych przeanalizowano za pomocą wskaźnika temperatury odczuwanej fizjologicznie (*PST*, °C). Opisuje on odczucia cieplne, które powstają w wyniku oddziaływania bodźców termicznych otoczenia na receptory ciepła i zimna roz-

mieszczono w skórze i uwzględniają procesy adaptacji organizmu do aktualnych warunków termicznych (Błażejczyk i Kunert, 2011).

Średnie roczne wartości wskaźnika PST w 2012 r. oscyływały od $-3,9^{\circ}\text{C}$ na obszarze podmiejskim w KON do $0,0^{\circ}\text{C}$ w centrum miasta w LO1 (tab. 4). Zakres średnich miesięcznych wartości temperatury odczuwalnej wahał się od $-16,3^{\circ}\text{C}$ (w lutym w KON) do ponad 14°C (w lipcu w LO1 i ZOO). Takie wartości wskazują na subiektywne odczucia od „bardzo zimno” do „komfortowo”. W badanym okresie największe średnie różnice ($4,7^{\circ}\text{C}$) między wszystkimi badanymi stacjami wystąpiły w styczniu (stacja LO1 i KON) (ryc. 2).

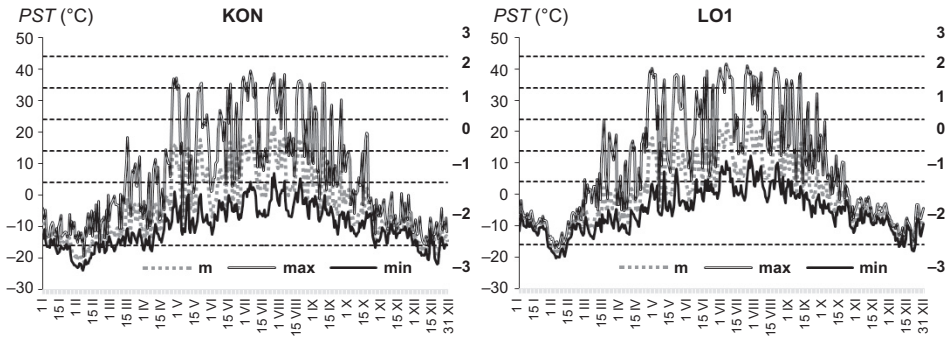
Tabela 4. Średnie miesięczne wartości temperatury odczuwanej fizjologicznie (PST) na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

Mean monthly values for physiological subjective temperature (PST) at the Toruń sites and the suburban area in Koniczynka in 2012

Stacja Station	Miesiące / Months												I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
KON	-14,9	-16,3	-9,1	-3,7	4,2	3,9	10,1	8,3	1,5	-5,9	-9,8	-15,1	-3,9
BAR	-11,0	-13,5	-6,4	-1,5	6,7	6,5	11,9	9,5	3,1	-3,7	-6,7	-12,1	-1,4
WRZ	-13,8	-15,4	-7,8	-3,3	4,5	4,2	10,7	8,5	1,7	-5,7	-9,7	-14,7	-3,4
SAL	-13,2	-14,9	-6,6	-1,8	6,2	6,2	13,0	10,4	3,6	-4,1	-8,2	-13,3	-1,9
RMA	-11,8	-13,8	-6,0	-0,7	7,3	6,4	12,8	11,0	4,5	-3,4	-7,2	-12,5	-1,1
OME	-12,0	-14,5	-6,6	-1,7	6,6	6,7	13,1	10,6	4,3	-3,4	-7,8	-13,1	-1,5
LO1	-10,2	-12,9	-4,9	0,2	8,1	8,2	14,5	12,0	5,3	-2,8	-6,1	-11,5	0,0
ZOO	-10,9	-13,0	-5,2	-0,2	8,2	7,6	14,3	12,0	5,2	-2,6	-6,5	-11,8	-0,2
BOR	-12,0	-14,0	-6,1	-1,3	7,3	6,7	13,1	10,9	3,6	-3,9	-7,5	-12,8	-1,3
MAN	-12,6	-14,4	-6,9	-2,1	6,3	5,8	12,5	10,0	3,2	-4,1	-8,2	-13,3	-2,0

W ciągu roku skrajne wartości wskaźnika PST_{\max} i PST_{\min} miały podobne zakresy zmienności ($3-4^{\circ}\text{C}$). W miesiącach zimowych wartości PST_{\min} wahały się od $-24,1^{\circ}\text{C}$ w KON do $-20,2^{\circ}\text{C}$ w LO1, a w okresie letnim PST_{\max} zmieniały się od $39,0^{\circ}\text{C}$ w BAR do $41,7^{\circ}\text{C}$ w LO1 (ryc. 6). W przypadku skrajnych wartości PST (amplitudy około 66°C) zakres możliwych subiektywnych odczuć obejmował przedziały od „bardzo zimno” do „gorąco”. Sytuacje temperatury odczuwanej fizjologicznie jako „gorąco” i „bardzo gorąco” są w Polsce stosunkowo rzadkie (Błażejczyk i Kunert, 2011; Kuchcik i inni, 2013).

Przy ocenie klimatu odczuwalnego ważną informacją jest częstość określonych sytuacji biotermicznych. Na wszystkich stacjach podczas całego roku występowały odczucia od „bardzo zimno” do „gorąco”. W 2012 r. dominującym rodzajem odczucia było „zimno” (od 66% w LO1 do 71% w WRZ). Odczucia „chłodno” były notowane od 12% w KON i WRZ do 18% w LO1. Odczucia „komfortu” notowano zaledwie w około 5% sytuacji (od 4% w KON do 7% w LO1).



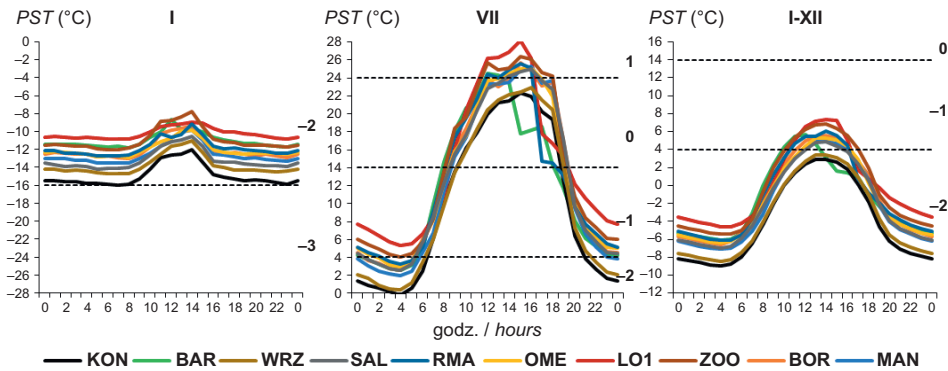
Ryc. 6. Przebieg roczny wskaźnika PST na stacji w centrum Torunia (LO1) i na terenie podmiejskim (KON) w 2012 r.

Średnie (m), maksymalne (max) i minimalne (min) dobowe wartości PST; 3 – bardzo gorąco, 2 – gorąco, 1 – ciepło, 0 – komfortowo, -1 – chłodno, -2 – zimno, -3 – bardzo zimno.

Annual course for PST at the central site in Toruń (LO1) and in the suburban area (KON), in 2012

Mean (m), maximum (max) and minimum (min) diurnal values of PST; 3 – very hot, 2 – hot, 1 – warm, 0 – comfortable, -1 – cool, -2 – cold, -3 – very cold.

W styczniu na analizowanym obszarze zanotowano bardzo małe (od 1,9°C w LO1 do 4,3°C w ZOO) amplitudy temperatury odczuwalnej (ryc. 7). W styczniu średnio w ciągu doby na wszystkich analizowanych punktach wystąpiło odczucie „zimno”. Ciekawa sytuacja wystąpiła w lipcu – w godzinach nocnych



Ryc. 7. Uśrednione dla stycznia (I), lipca (VII) i roku (I-XII) przebiegi dobowe wskaźnika PST na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

1 – ciepło, 0 – komfortowo, -1 – chłodno, -2 – zimno, -3 – bardzo zimno.

Averaged diurnal courses for PST for January (I), July (VII) and the whole year (I-XII) at the Toruń sites and in the suburban area in Koniczynka, in 2012

1 – warm, 0 – comfortable, -1 – cool, -2 – cold, -3 – very cold.

dominowało subiektywne odczucie ciepłe „zimno” i „chłodno”, a w ciągu dnia „komfortowo” i „ciepło”. W lipcu na całym obszarze najwyższą uśrednioną wartość ($28,1^{\circ}\text{C}$) w ciągu doby stwierdzono o godzinie 15.00 w LO1, natomiast najniższą ($-0,2^{\circ}\text{C}$) – o 4.00 w KON (ryc. 7). Największe różnice wartości *PST* między centrum Torunia a obszarem podmiejskim (ryc. 5), przekraczające 5°C , notowano w półroczu ciepłym w godzinach nocnych i okołopołudniowych.

Przewidywana termoizolacyjność odzieży (*Iclp*)

Odzież jest najprostszym zabezpieczeniem przed niekorzystnym wpływem pogody. Chroni ona organizm zarówno przed nadmiernymi stratami ciepła, jak i przed zbyt dużym dopływem ciepła z otoczenia (Błażejczyk, 2004). Wskaźnik przewidywanej termoizolacyjności odzieży (*Iclp*, clo) pomaga określić izolacyjność odzieży niezbędnej w danych warunkach atmosferycznych do zachowania równowagi cieplnej organizmu człowieka (Błażejczyk, 2004; Błażejczyk i Kunert, 2011).

Na badanym obszarze z punktu widzenia zapotrzebowania na odzież o optymalnych właściwościach termoizolacyjnych dla człowieka poruszającego się w terenie z prędkością $4 \text{ km}\cdot\text{godz}^{-1}$, do utrzymania komfortu termicznego zaleca się odzież letnią i dla sezonów przejściowych. Według średnich rocznych wartości wskaźnika *Iclp* na wszystkich analizowanych punktach, wahały się one od 0,9 clo w LO1 do około 1,2 clo w KON i WRZ (tab. 5). Dla człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) niezbędna była odzież sezonów przejściowych (1,5-2,5 clo) od grudnia do lutego na wszystkich stacjach

Tabela 5. Średnie miesięczne wartości przewidywanej izolacyjności odzieży (*Iclp*) dla człowieka w ruchu ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

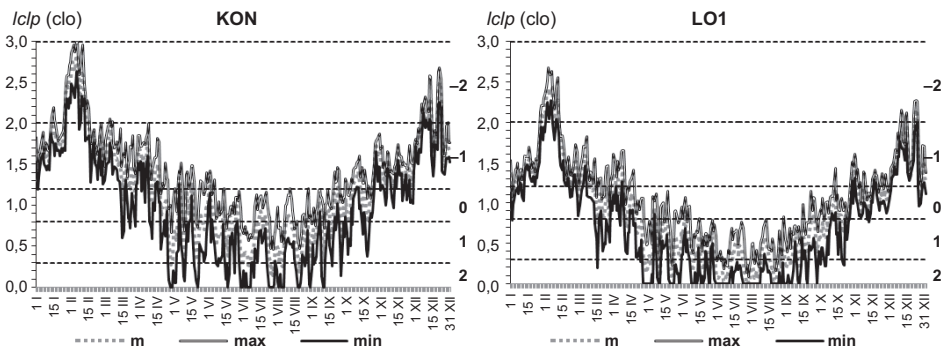
Mean monthly values for the predicted insulation of clothing (*Iclp*) for a moving person ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) at the Toruń sites and the suburban area in Koniczynka in 2012

Stacja <i>Station</i>	Miesiące / <i>Months</i>												I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
KON	1,8	2,1	1,5	1,2	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	1,2	1,4	1,9	1,2
BAR	1,5	1,9	1,2	1,0	0,6	0,5	0,3	0,4	0,6	1,0	1,1	1,6	1,0
WRZ	1,8	2,1	1,4	1,2	0,8	0,7	0,5	0,5	0,8	1,2	1,4	1,9	1,2
SAL	1,7	2,0	1,3	1,1	0,7	0,6	0,4	0,4	0,7	1,1	1,3	1,8	1,1
RMA	1,6	1,9	1,3	1,0	0,6	0,5	0,3	0,3	0,6	1,0	1,2	1,7	1,0
OME	1,6	2,0	1,3	1,0	0,7	0,6	0,4	0,4	0,6	1,0	1,3	1,8	1,1
LO1	1,5	1,8	1,1	0,9	0,5	0,4	0,2	0,3	0,5	0,9	1,1	1,6	0,9
ZOO	1,6	1,8	1,2	1,0	0,6	0,5	0,3	0,3	0,6	1,0	1,2	1,6	1,0
BOR	1,7	1,9	1,3	1,0	0,6	0,6	0,4	0,4	0,7	1,1	1,2	1,7	1,1
MAN	1,7	2,0	1,3	1,1	0,7	0,6	0,4	0,4	0,7	1,1	1,3	1,8	1,1

oraz w marcu w KON (tab. 5). W marcu, kwietniu, październiku i listopadzie wystarczyła przeważnie zwykła odzież letnia z dodatkami podwyższającymi jej ciepłochronność (1,0-1,5 clo). W okresie od maja do września na wszystkich analizowanych punktach powinno się używać odzieży letniej: lekkiej (0,5-1,0 clo) lub nawet bardzo lekkiej w środku lata (<0,5 clo). Podobne wartości *Iclp* w przebiegu rocznym stwierdzono w innych regionach Polski (Kuchcik i inni, 2013).

Analizując wartości *Iclp* co godzinę, należy wspomnieć o dużej jej zmienności w poszczególnych dniach (ryc. 8). Zimą na wszystkich stacjach wahania absolutne przewidywanej izolacyjności odzieży (od 0,8 do 3,1 clo) są około 1,5÷2 razy większe od tych w okresie letnim (od 0,0 do 1,4 clo).

Na całym badanym obszarze występowały warunki środowiska termicznego od „bardzo ciepłego” do „zimnego”, a na WRZ i SAL zakres był rozszerzony do warunków „bardzo zimnych”. W 2012 r. roku najczęściej występowały warunki „chłodne” (od 26% w LO1 do 42% w KON), „ciepłe” i „neutralne” (odpowiednio około 26% i 22% średnio dla wszystkich stacji).



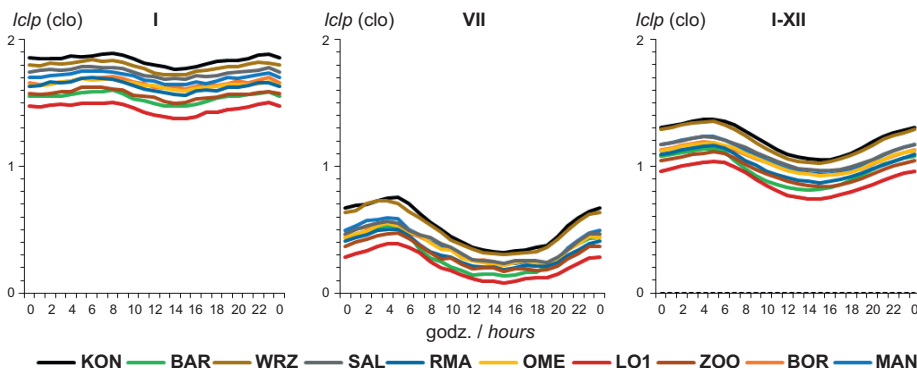
Ryc. 8. Przebieg roczny wskaźnika *Iclp* ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) na stacji w centrum Torunia (LO1) i na terenie podmiejskim (KON) w 2012 r.

Średnie (m), maksymalne (max) i minimalne (min) wartości *Iclp*. Środowisko termiczne: 2 – bardzo ciepłe, 1 – ciepłe, 0 – neutralne, -1 – chłodne, -2 – zimne.

Annual course for *Iclp* ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) at the central site in Toruń (LO1) and in the suburban area (KON), in 2012

Mean (m), maximum (max) and minimum (min) values of *Iclp*. Thermal conditions: 2 – very warm, 1 – warm, 0 – neutral, -1 – cool, -2 – cold.

Uśrednione przebiegi dobowe wskaźnika *Iclp* gwarantującego komfort cieplny dla człowieka przy umiarkowanym wysiłku fizycznym przedstawiono na rycinach 5 i 9. W Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie *Iclp* wykazywał małe zróżnicowanie właściwości ciepłochronnych w styczniu. Amplitudy dobowe *Iclp* w tym miesiącu na wszystkich stacjach wynoszą 0,1 clo. Warto to podkreślić, gdyż do uzyskania komfortu termicznego dla człowieka w ruchu, w ciągu



Ryc. 9. Uśrednione dla stycznia (I), lipca (VII) i roku (I-XII) przebiegi dobowe wskaźnika I_{clp} ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.
Averaged diurnal courses for I_{clp} ($M=135 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), for January (I), July (VII) and the whole year (I-XII), at the Toruń sites and in the suburban area in Koniczynka, in 2012

całego dnia, wystarczy wówczas tylko jeden ciepłochronny zestaw odzieży. Jest to bardzo praktyczne. W lipcu potrzeba czasami kilku warstw odzieży, ponieważ w przebiegach dobowych amplitudy I_{clp} wynoszą około 0,3-0,4 clo.

Uzyskane wyniki nawiązują do wniosków zawartych w artykule A. Araźnego i innych (2015), w którym przedstawiono porównanie przewidywanej termoizolacyjności odzieży (I_{clp}) w Toruniu (WRZ) i w Koniczynie w latach 1998-2012. Wieloletnia średnia roczna wartość przewidywanej termoizolacyjności odzieży w obszarze miejskim Torunia wyniosła 1,0 clo i była o 0,1 clo niższa od zanotowanej na terenie użytkowanym rolniczo w Koniczynie. Analiza wpływu cyrkulacji atmosferycznej na wskaźnik I_{clp} wykazała, że w skali roku najwyższa średnia wartość I_{clp} (1,4 clo w Koniczynie) charakteryzowała sytuacje cyklonalne z adwekcją powietrza z kierunku północnego, natomiast najniższa (0,8 clo w Toruniu i w Koniczynie) – typ klina antycyklonalnego (Araźny i inni, 2015).

Stres termofizjologiczny (PhS)

Wskaźnik stresu termofizjologicznego (PhS , bez wymiaru) pozwala na określenie, jakie termoregulacyjne reakcje dostosowawcze organizmu – mające na celu zrównoważenie zysków i strat ciepła – występują w danych warunkach otoczenia i jaka jest ich intensywność. Gdy w wymianie ciepła z otoczeniem przeważa ewaporacja ($PhS \leq 0,75$), występuje stres gorąca. Jeśli jest względna równowaga konwekcyjnych i ewaporacyjnych strat ciepła ($0,75 < PhS < 1,5$), reakcje termoregulacyjne organizmu są mało intensywne, a stan taki nazywany jest warunkami termoneutralnymi. Z kolei gdy przeważają konwekcyjne straty ciepła ($PhS \geq 1,5$), występuje fizjologiczny stres zimna (Błażejczyk i Kunert, 2011).

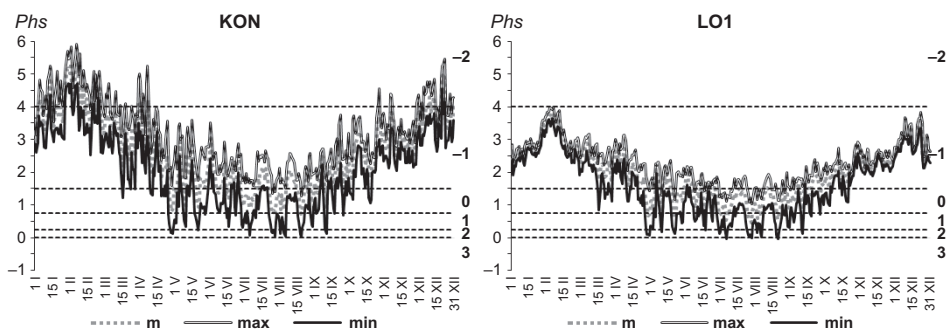
W 2012 r. średnie roczne *PhS* zmieniało się od 1,96 w LO1 do 2,65 w KON (tab. 6). Na podstawie średnich miesięcznych wartości *PhS* można podać natężenie stresu termofizjologicznego. W lipcu i sierpniu stwierdzono warunki termoneutralne (względna równowaga konwekcyjnych i ewaporacyjnych strat ciepła) na wszystkich stacjach. Warunki te dłużej (od maja do sierpnia) notowano w punktach w centrum miasta, tj. w LO1, ZOO oraz w punktach otoczonych zielenią: RMA i BAR. Na całym analizowanym obszarze największe konwekcyjne straty ciepła określane jako „duże natężenie stresu zimna” wystąpiło tylko w lutym w KON. Cenną charakterystyką warunków biometeorologicznych jest analiza wartości skrajnych (ryc. 10). Minimalne wartości absolutne *PhS* na wszystkich punktach były zbliżone do zera. Oznacza to, jak podają Błażejczyk i Kunert (2011), „silne natężenie stresu gorąca” i związane z tym reakcje dostosowawcze organizmu do warunków termicznych otoczenia, takie jak silne pocenie się, podwyższenie temperatury skóry i zmniejszenie ciśnienia krwi. Maksymalne wartości absolutne *PhS* wahają się od 4,0 w LO1 do 5,9 w KON i OME (czyli około sześciokrotna przewaga unoszenia nad parowaniem potu).

Tabela 6. Średnie miesięczne wartości stresu termofizjologicznego (*PhS*) na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

Mean monthly values for physiological strain (*PhS*) at the Toruń sites and the suburban area in Koniczynka, in 2012

Stacja Station	Miesiące / Months												I-XII
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
KON	4,00	4,24	3,23	2,57	1,80	1,79	1,40	1,40	1,92	2,62	2,98	3,80	2,65
BAR	2,86	3,19	2,44	2,04	1,49	1,48	1,20	1,27	1,66	2,15	2,38	2,95	2,09
WRZ	3,62	3,86	2,87	2,42	1,73	1,70	1,34	1,38	1,86	2,51	2,93	3,69	2,49
SAL	3,45	3,69	2,67	2,24	1,59	1,55	1,20	1,26	1,69	2,30	2,67	3,33	2,30
RMA	3,04	3,31	2,54	2,08	1,47	1,49	1,16	1,21	1,63	2,18	2,47	3,06	2,14
OME	3,18	3,62	2,66	2,23	1,55	1,52	1,18	1,25	1,64	2,20	2,62	3,32	2,25
LO1	2,74	3,09	2,31	1,90	1,34	1,34	1,02	1,09	1,49	2,05	2,31	2,89	1,96
ZOO	2,95	3,22	2,46	2,04	1,43	1,44	1,12	1,17	1,58	2,12	2,41	3,00	2,08
BOR	3,17	3,46	2,57	2,17	1,53	1,52	1,20	1,25	1,70	2,26	2,54	3,19	2,21
MAN	3,28	3,51	2,70	2,24	1,56	1,56	1,23	1,29	1,72	2,29	2,67	3,31	2,28

Warunki pogodowe w 2012 r. na obszarze Torunia powodowały występowanie różnego rodzaju stresu termofizjologicznego. Najczęściej występował „umiarkowany stres zimna” (od 69% w KON do 76% w BAR). Warunki termoneutralne obserwowane głównie w cieplej porze roku stanowiły od 13% w KON do 23% w LO1. W ciągu roku, szczególnie zimą najgorsze warunki biotermiczne pojawiały się poza miastem w KON, gdzie „silny stres zimna” notowano przez 16% dni.



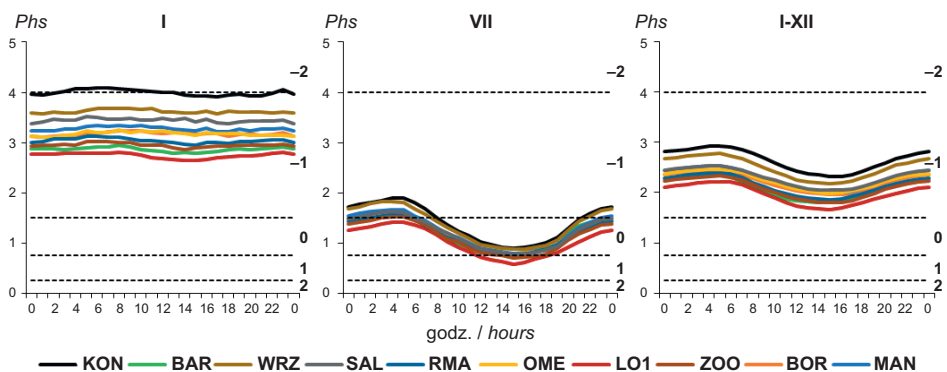
Ryc. 10. Przebieg roczny wskaźnika Phs na stacji w centrum Torunia (LO1) i na terenie podmiejskim (KON) w 2012 r.

3 – ekstremalny stres gorąca, 2 – silny stres gorąca, 1 – umiarkowany stres gorąca, 0 – termoneutralnie, -1 – umiarkowany stres zimna, -2 – silny stres zimna.

Annual course for Phs at the central site in Toruń (LO1) and in the suburban area (KON), in 2012

3 – extreme hot strain, 2 – great hot strain, 1 – moderate hot strain, 0 – thermoneutral, -1 – moderate cold strain, -2 – great cold strain.

W styczniu 2012 r. średnie amplitudy wskaźnika Phs były niewielkie (0,1-0,2) na wszystkich stanowiskach (ryc. 11). Wartości uśrednione Phs w ciągu doby (od 2,74 w LO1 do 4,00 w KON) świadczą o znacznej ilości ciepła oddawanego z organizmu człowieka poprzez unoszenie. W lipcu amplitudy Phs były kilka-



Ryc. 11. Uśrednione dla stycznia (I), lipca (VII) i roku (I-XII) przebiegi dobowe wskaźnika Phs na stacjach w Toruniu i na terenie podmiejskim w Koniczynie w 2012 r.

2 – silny stres gorąca, 1 – umiarkowany stres gorąca, 0 – termoneutralnie, -1 – umiarkowany stres zimna, -2 – silny stres zimna.

Averaged diurnal courses for Phs in the case of January (I), July (VII) and the whole year (I-XII) at the Toruń sites and in the suburban area in Koniczyna, in 2012

2 – great hot strain, 1 – moderate hot strain, 0 – thermoneutral, -1 – moderate cold strain, -2 – great cold strain.

krotnie większe (na całym obszarze od 0,8 do 1,0). W przebiegu uśrednionym w lipcu od godziny 9.00 do 21.00 na wszystkich stacjach panowały „warunki termoneutralne”, a w centrum miasta (w LO1) nawet przez całą dobę (ryc. 11). Największe różnice wartości PhS (poniżej 1) między centrum Torunia a obszarem podmiejskim (ryc. 5) stwierdzono podczas miesięcy zimowych, głównie w godzinach dziennych. Zanikały one latem w godzinach okołopołudniowych.

Podsumowanie

Celem pracy było zbadanie i ustalenie prawidłowości oddziaływania na organizm człowieka czynników atmosferycznych związanych z sezonowością i wahaniami dobowymi oraz poznanie zróżnicowania przestrzennego warunków biometeorologicznych w Toruniu i jego otoczeniu. Do realizacji tego celu przeanalizowano zmienność przestrzenną wybranych wskaźników biometeorologicznych ($UTCI$, PST , $Iclp$ i PhS) w 2012 r.

W konkretnych sytuacjach głównymi czynnikami kształtującymi warunki biometeorologiczne w Toruniu i jego okolicach są rodzaj pokrycia i użytkowania terenu oraz struktura urbanistyczna i wysokościowa zabudowy.

Najkorzystniejszymi warunkami biotermicznymi w 2012 r. odznaczało się centrum miasta (LO1), gdzie według wskaźnika $UTCI$ przez około połowę dni w roku (45%) brak jest obciążeń cieplnych organizmu. Podobne warunki (42%) stwierdzono w punktach BAR, ZOO i RMA, gdzie duże znaczenie w kształtowaniu warunków biometeorologicznych ma zieleń miejska. Modyfikuje ona nie tylko współczynnik widoku nieba, ale przede wszystkim wartości elementów meteorologicznych (m.in. redukuje prędkość wiatru).

W centralnej części miasta w miesiącach letnich sporadycznie występowały niekorzystne warunki biotermiczne, zwłaszcza przy intensywnym wysiłku fizycznym. W czasie dni bezchmurnych i z małym zachmurzeniem zarówno w nocy, jak i w ciągu dnia najwyższe wartości wskaźnika $UTCI$ obserwowano w kanionie dziedzińca na Starym Mieście (LO1). W ciągu dnia $UTCI$ przekroczyło tam 38°C („bardzo silny stres ciepła”).

Najbardziej niekorzystne warunki biometeorologiczne stwierdzono w stacji podmiejskiej KON, gdzie według wskaźnika $UTCI$ przez 42% dni w roku notowano silny i umiarkowany stres zimna. Warunki takie wymagają m.in. ubioru o większej termoizolacyjności, szczególnie w okresie zimowym, w porównaniu do innych analizowanych miejsc.

W ciągu całego roku w cyklu dobowym, największą kontrastowość obciążeń cieplnych organizmu człowieka stwierdzono na obszarach osiedli jednorodzinnych/zabudowy blokowej z dużym udziałem zieleni (ZOO, RMA).

Dla mieszkańców Torunia oraz turystów korzystny okres pod względem obciążeń cieplnych stanowił około 2/3 roku (głównie w cieplej części roku). W tym czasie panowały warunki niepowodujące nadmiernego stresu dla orga-

nizmu („łagodny stres zimna” lub „brak obciążeń cieplnych”). Przez większość roku w Toruniu zaleca się stosowanie odzieży letniej zwykłej lub odzieży sezonów przejściowych.

*

W artykule wykorzystano wyniki uzyskane w ramach projektu nr N N306 723040 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Autorzy składają podziękowanie Marcinowi Rzepie za obliczenie współczynników widoku nieba oraz Instytutowi Meteorologii i Gospodarki Wodnej za udostępnienie danych meteorologicznych ze stacji Toruń-Wrzosy.

Piśmiennictwo / References

- Araźny 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, s. 55-67. DOI: 10.1515/sggw-2015-0005.
- Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*, Dokumentacja Geograficzna, 26, Warszawa.
- Błażejczyk K., 2004, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 192, Warszawa.
- Błażejczyk K., Broede P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., 2010, *UTCI – nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka*, Przegląd Geograficzny, 82, 1, s. 49-71.
- 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 Sedno, Warszawa.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2010, *Warunki bioklimatyczne wybranych aglomeracji Europy i Polski*, [w:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 93-106.
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki w Polsce*, wydanie 2, Monografie IGiPZ PAN, 13, Warszawa.
- Błażejczyk K., Twardosz R., 2010, *Long-term changes of bioclimatic conditions in Cracow (Poland)*, [w:] R. Przybylak, J. Majorowicz, R. Brazdil, M. Kejna (red.), *The Polish Climate in the European Context. An Historical Overview*, Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, s. 235-246.
- Błażejczyk K., Twardosz R., Kunert A., 2003, *Zmienność warunków biotermicznych w Krakowie w XX wieku na tle wahań cyrkulacji atmosferycznej*, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red.), *Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 188, Warszawa, s. 233-246.
- Chabior M., 2008, *Ocena warunków bioklimatycznych Szczecina dla potrzeb turystyki*, [w:] K. Kłysik, J. Wibig, K. Fortuniak (red.), *Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo UŁ, Łódź, s. 361-370.
- Chabior M., 2011, *Wybrane aspekty bioklimatu Szczecina*, Prace i Studia Geograficzne, 47, s. 293-300.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1989, *Bioklimat Krakowa*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 73.

- 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, Toruń, s. 27-56.
- Kożuchowski K., Baliński W., Bartnik A., Buczyłko K., Degirmendźić J., Fortuniak K., Jokiel P., Liszewska M., Minkiewicz T., Papiernik Ż., Podogrocki J., Wagner A., Wibig J., Żmudzka E., 2000, *Klimat odczuwalny, [w:] Pory roku w Polsce. Sezonowe zmiany w środowisku a wieloletnie tendencje klimatyczne*, Wydawnictwo UŁ, Łódź, s. 93-106.
- Kłysik K., Fortuniak K., Zawadzka A., 1995, *Charakterystyka Łodzi-Lublinka w świetle zmienności ochładzania w latach 1951-1990, [w:] K. Kłysik (red.), Klimat i bioklimat miast*, Wydawnictwo UŁ, Łódź, s. 271-278.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., Szmyd J., Milewski P., Błażejczyk A., Baranowski J., 2013, *Potencjał leczniczy klimatu Polski*, Wydawnictwo Akademickie Sedno, Warszawa.
- Landsberg H.E., 1981, *The Urban Climate*, Academic Press, New York.
- Lewińska J., 2000, *Klimat miasta – zasoby, zagrożenia, kształtowanie*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Kraków.
- Liopo T.N., Cicenکو G.V., 1971, *Klimatičeskiye uslovija i teplovoje sostojanije čeloveka*, Hidrometeoizdat, Leningrad.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2007, *Warunki bioklimatyczne, [w:] D. Matuszko (red.), Klimat Krakowa w XX wieku*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, s. 169-186.
- Michalski T., Malinowska M., 2002, *Warunki bioklimatyczne i areosanitarne a sytuacja zdrowotna mieszkańców aglomeracji gdańskiej*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Mrocza A., 1992, *Zróżnicowanie czasowe i przestrzenne wybranych wskaźników biometeorologicznych na terenie Krakowa*, Rocznik Naukowy AWF, 25, Kraków.
- Mrugeła S., 1992, *Wybrane aspekty zmienności ochładzania katatermometrycznego w Lublinie*, Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, 33, Seria Geografia, 1/2, s. 19-23.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., Limanówka D., Mrocza A., Ustrnul Z., 1996, *Zmienność bioklimatu Krakowa*, Folia Geographica, seria Geographia-Physica, 26-27, PAN, Kraków, s. 89-105.
- Nowosad M., Rodzik B., Wereski S., Dobek M., 2013, *The UTCI Index in Lesko and Lublin and its circulation determinations*, Geographia Polonica, 86, 1, s. 29-36.
- Nurek T., Korzeniewski J., Trapp J., Wyszowski A., 1992, *Bioklimat aglomeracji gdańskiej*, Zeszyty Naukowe UG, Geografia, 18, s. 21-44.
- Olszewski J., Żarnowiecki G., Predygień K., Szałach G., 2003, *Wstępne wyniki badań bioklimatu terenów rekreacyjnych Kielc w sezonie wiosennym, [w:] K. Błażejczyk, B. Krawczyk, M. Kuchcik (red.), Postępy w badaniach klimatycznych i bioklimatycznych*, Prace Geograficzne, IGiPZ PAN, 188, Warszawa, s. 303-315.
- Owczarek M., 2003, *Odczuwalność cieplna w Gdyni w świetle wybranych wskaźników*, Wiadomości IMGW, 4, s. 37-58.
- Papiernik Ż., 2004, *Warunki bioklimatyczne Łodzi w drugiej połowie XX wieku, [w:] K. Kłysik (red.), 100 lat obserwacji meteorologicznych w Łodzi*, Acta Geographica Lodziana, 89, s. 147-159.
- Pótrolniczak M., 2010, *Bioklimat Poznania na tle mechanicznych bodźców biometeorologicznych w latach 1951-2000, [w:] E. Bednorz, L. Kolendowicz (red.), Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 107-119.

- Przybylak R., Uscka-Kowalkowska J., Arażny A., Kejna M., Kunz M., Maszewski R., 2015, *Spatial distribution of air temperature in Toruń (Central Poland) and its causes*, Theoretical and Applied Climatology, DOI: 10.1007/s00704-015-1644-2.
- Rzepa M., Gromek B., Siedlecki M., 2006, *Zastosowanie programu BMSky-view do obliczania współczynnika widoku nieba w centrum Łodzi*, Annales UMCS, sec. B, 61, s. 400-410.
- Sikora S., 2008, *Bioklimat Wrocławia*, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Stewart I.D., Oke TR., 2012, *Local climate zones for urban temperature studies*, Bulletin of the American Meteorological Society, 93, s. 1879-1900.
- Strzyżewski T., Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kejna M., Arażny A., Maszewski R., 2015, *Zróżnicowanie kierunku i prędkości wiatru na obszarze Torunia (centralna Polska) w 2012 roku*, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 67, s. 79-89.
- Uscka-Kowalkowska J., Przybylak R., Kunz M., Maszewski R., Arażny A., Kejna M., 2014, *Zróżnicowanie wilgotności powietrza na terenie Torunia w 2012 roku*, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 66, s. 393-409.
- Wereski S., Dobek M., Wereski S., 2010, *Częstotliwość występowania poszczególnych odczuć cieplnych w Lublinie i w Lesku na podstawie temperatury odczuwalnej (STI) w latach 1991-2005*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 27, s. 371-377.
- Wójcik G., Marciniak K., 2006, *Klimat*, [w:] L. Andrzejewski, P. Weckwerth, S. Burak (red.), *Toruń i jego okolice – monografia przyrodnicza*, Wydawnictwo UMK, Toruń, s. 99-127.
- Wójcik G., Rzepka-Urbańska V., 1997, *Bioklimat Torunia w świetle wybranych wskaźników kompleksowych*, [w:] K. Kłysik (red.), *III Ogólnopolska Konferencja „Klimat i bioklimat miast” Łódź, 22-24 października 1997 r. – streszczenia referatów*, Wydawnictwo UŁ, Łódź, s. 34-35.
- Żarnowiecki G., 2002, *Zróżnicowanie bioklimatyczne Kielc w sezonie letnim*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 3, s. 109-116.
- Żarnowiecki G., Szałach G., 2001, *Zróżnicowanie warunków biotopoklimatycznych w Kielcach*, Dokumentacja Geograficzna, 23, Warszawa, s. 119-129.

[Wpłynęło: czerwiec; poprawiono: listopad 2015 r.]

ANDRZEJ ARAŻNY, JOANNA USCKA-KOWALKOWSKA, MAREK KEJNA,
RAJMUND PRZYBYŁAK, MIECZYŚLAW KUNZ

THE DIVERSITY OF BIOMETEOROLOGICAL CONDITIONS IN TORUŃ AND ITS SUBURBAN AREA IN 2012

This paper provides an assessment of the spatial diversity of biometeorological conditions in Toruń and its suburban area in 2012. The study makes use of meteorological data sourced from 10 automatic weather stations set up at locations differing in terms of land cover and use. The analysis was based on data of hourly resolution comprising the following meteorological elements: air temperature ($^{\circ}\text{C}$), global solar radiation ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), relative humidity of the air (%) and wind speed ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). These elements provided a basis for the calculation of the following biometeorological indices: the universal thermal cli-

mate index (the *UTCI*), physiological subjective temperature (*PST*), the predicted insulation of clothing (*Iclp*) and physiological strain (*PhS*).

The greatest differences in biometeorological conditions were found between the centre of Toruń (LO1, situated in the Medieval Old Town) and the suburban area (KON, situated in an agricultural area of Koniczynka). Over the annual course, the greatest differences between the two sites (LO1 and KON) characterised January, in respect of the *UTCI* (13.6°C), *PST* (4.7°C) and *PhS* (-1.3), or else January and February, as regards *Iclp* (-0.4 clo) at moderate physical activity.

The most favourable biothermal conditions are characteristic of the city centre (LO1). For example, where the *UTCI* is concerned, no heat stress is found to occur through half the year (45%). Similar conditions (*UTCI* = 42%) were observed at sites where urban green space is a vital factor in the development of biometeorological conditions (BAR, ZOO and RMA). Green space modifies the sky view factor markedly, though first and foremost influencing values recorded for meteorological elements (e.g. by reducing wind speed). Occasionally, unfavourable conditions may occur in the central part of the city in the summer, especially when physical activity is vigorous. On cloudless or sparsely cloudy days, in the daytime or at night, the highest values of the *UTCI*, for example, were recorded in the street canyon of the Old Town courtyard (LO1). During the day the *UTCI* exceeded 38°C there ("very strong heat stress"). The most unfavourable conditions in turn characterised the suburban site of KON, where, according to the *UTCI*, for example, moderate to strong cold stress was observed on 42% of the days in a year. Such conditions differ from the other sites analysed in necessitating clothing with better thermal insulation properties, especially in the winter.

During the year as a whole, heat stresses for the human body were most disparate in terms of their diurnal course in residential areas (single-family houses/blocks of flats) with a substantial share of green space (ZOO and RMA).

For the residents of Toruń and tourists alike, two-thirds of the year (mainly the warm season) looks favourable from the point of view of heat stress. Conditions prevailing then did not cause excessive stress for the body ("moderate cold stress" or "no thermal stress"). Therefore, regular summer clothing or transitional season clothing is recommended for most of the year in Toruń.

