

JADWIGA NIDZGORSKA-LENCEWICZ, AGNIESZKA MAKOSZA

*Katedra Meteorologii i Kształtowania Terenów Zieleni
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Papieża Pawła VI 3A, 71-459 Szczecin
E-mail: jnidzgorska@zut.edu.pl
agnieszka.makosza@zut.edu.pl*

SPECYFICZNE CECHY KLIMATU MIASTA W ASPEKCIE ZDROWIA CZŁOWIEKA

WSTĘP

Rozwój miast jest zjawiskiem typowym dla współczesnej cywilizacji. Od początku XIX w. zaludnienie Ziemi wzrosło ponad 5,5-krotnie, a liczba ludności mieszkającej w miastach zwiększyła się przeszło stukrotnie (SZYMANOWSKI 2004). Demografowie oceniają, że obecnie ponad połowa z 7 miliardów ludzi żyje w miastach, a w krajach rozwiniętych odsetek ten jest znacznie większy i sięga 90% ludności państwa. W polskich miastach mieszka ok. 23,3 miliona osób, co stanowi ponad 61% ogółu ludności kraju.

Intensywna urbanizacja i industrializacja prowadzi do stałego powiększenia obszarów, na których dominują typowe dla miast antropogeniczne powierzchnie czynne, w konsekwencji prowadzące do znacznych modyfikacji w środowisku atmosferycznym. W przypadku wielkich miast mamy do czynienia ze specyficznym topoklimatem o wyraźnie odmiennych parametrach radiacyjnych, termicznych, wilgotnościowych, wietrznych oraz aerosanitarnych, w porównaniu z obszarami podmiejskimi.

Efekty procesów kształtujących odrębne cechy klimatu miasta są zależne od jego wielkości i stopnia uprzemysłowienia. Wyraźne i trwałe cechy klimatu miasta występują z reguły w miastach dużych o zaludnieniu rzędu 1 mln mieszkańców. W miastach liczących mniej niż 100 tys. mieszkańców lokalnie występują niektóre osobliwości charakterystyczne dla klimatu miast, np. podwyższone stężenia zanieczyszczeń powietrza

czy zmiany prędkości i kierunku wiatru na obszarze zwartej zabudowy (SKRZYPSKI 2012). Obecnie w Polsce jest 5 miast o liczbie mieszkańców powyżej 500 tys. oraz 39 miast powyżej 100 tys.

Warunki klimatyczne panujące w mieście mogą oddziaływać niekorzystnie na organizm człowieka (KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA i współaut. 2004, BŁĄZEJCZYK i KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA 2008). Wyniki badań wskazują, że w społeczeństwach wysoko zurbanizowanych częściej dochodzi do nieprawidłowych reakcji organizmu w następstwie zmian stylu życia osłabiających zdolności adaptacyjne. Według Światowej Organizacji Zdrowia szkodliwe czynniki środowiskowe są odpowiedzialne za blisko 24% chorób i zaburzeń w skali globalnej, w Polsce odsetek ten wynosi około 17% (WHO 2009).

Niekorzystny klimat miast dodatkowo potęgują obserwowane zmiany klimatyczne. Według prognoz klimat XXI w. będzie znacząco różny od tego, jaki panował w ubiegłym stuleciu, a globalne ocieplenie jest nieuniknione. Projekcje dla Polski wskazują, że ekstremalne zjawiska pogodowe będą zdarzały się częściej i staną się bardziej intensywne. Przewiduje się wzrost częstości upałów i suszy, a także silnych wiatrów (KUNDZEWICZ i JUDA-REZLER 2010). Wyniki badań dotyczące wpływu zmian klimatu na poziom zanieczyszczeń w przyszłości także nie napawają optymizmem (JACOB i WINNER 2009). Symulacje przeprowadzone dla Europy Środkowej i Południowo-Wschodniej przez HUSZAR i współaut. (2011) wskazują, że za

zmieniającym się klimatem ma podążać pogorszenie jakości powietrza, głównie z tytułu podwyższonych stężeń ozonu troposferycznego (O_3), ale także spodziewanego wzrostu poziomu dwutlenku siarki (SO_2), przy stosunkowo najmniejszych zmianach stężeń pyłu zawieszzonego o średnicy cząstek mniejszej niż $10 \mu m$ (PM_{10}) (ang. particulate matter)

Kwestia zmian klimatu została dostrzeżona również przez gremia rządzące. Komisja Europejska publikując w kwietniu 2013 r. *Strategię UE w zakresie przystosowania się do zmian klimatu* wskazała, że w celu przygotowania krajów członkowskich do przewidywanych zmian klimatu niezbędne będzie podjęcie działań na wszystkich poziomach: krajowym, regionalnym i lokalnym. Działania lokalne dotyczące miast wiążą się z przygotowaniem Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu (MPA) zawierającego zarówno analizę zagrożeń, jak i propozycje działań adaptacyjnych.

Celem pracy jest przedstawienie wybranych cech i osobliwości decydujących o specyfice klimatu jakim odznaczają się obszary zurbanizowane i jego wpływie na organizm człowieka.

PROMIENIOWANIE SŁONECZNE

Modyfikacja klimatu lokalnego terenów zurbanizowanych dotyczy przede wszystkim stosunków radiacyjnych. Bilans radiacyjny na obszarze miast ulega zmianie głównie przez wpływ zanieczyszczeń powietrza i pary wodnej oraz geometrię i właściwości fizyczne struktur miejskich. Zmniejszenie wartości natężenia i sum całkowitego promieniowania słonecznego dopływającego do poziomych powierzchni czynnych wynosi w Polsce w centrach dużych miast nawet 15–30%. W jeszcze większym stopniu tłumiony jest dopływ promieniowania ultrafioletowego, od kilku procent latem, do 30–40% zimą, a w ekstremalnych przypadkach straty te mogą dochodzić nawet do 90% (OKE 1973 za FORTUNIAK 2003). Wpływ zanieczyszczeń powietrza uwiadcza się poprzez wzrost udziału promieniowania rozproszonego w stosunku do bezpośredniego. W porównaniu z terenami pozamiejskimi, obszary miejskie odznaczają się także mniejszym o około 5–15% usłonecznieniem (liczba godzin z bezpośrednim promieniowaniem słonecznym) (LEWIŃSKA 2000), a także niższymi wartościami albedo (iloraz promieniowania odbitego i padającego na daną powierzchnię). Energia promieniowania słonecznego dochodząca do powierzchni Ziemi jest ważnym czynnikiem warunkującym zdrowie człowieka, wpływa bowiem na jego samopoczucie, pobudza układ krwiotwórczy, nerwowy i gruczoły wydzielania we-

wnętrznego, zwiększa odporność na infekcje i przyczynia się do wytwarzania witaminy D (KUCHCIK i współaut. 2013).

ZACHMURZENIE

Zachmurzenie jest elementem klimatu kształtowanym głównie przez makroskalowe procesy cyrkulacyjne, a tylko w niewielkim stopniu jest modyfikowane przez czynniki lokalne (ŻMUDZKA 2008). Wpływ czynników antropogenicznych na kształtowanie się wielkości zachmurzenia w minionym wieku w Krakowie wykazała MATUSZKO (2001). Największe zachmurzenie przypadało bowiem na początkowe lata najintensywniejszego rozwoju terytorialnego, demograficznego i przemysłowego miasta (okres po II wojnie światowej). W przebiegu wieloletnim wielkość zachmurzenia w dwóch największych miastach Polski, Warszawie i Krakowie, wykazuje tendencję spadkową (MATUSZKO 2001, ŻMUDZKA 2008). Bardziej oczywisty jest wpływ miasta na strukturę zachmurzenia. Wykazano wzrost częstości występowania chmur o budowie pionowej (*Cumulus*, *Cumulonimbus*) przynoszących opady krótkotrwałe o charakterze ulewy, a zmniejszoną obecność chmur warstwowych (*Stratus*, *Nimbostratus*, *Altostratus*) dających opady długotrwałe, ale o mniejszym natężeniu, co tłumaczy się emisją ciepła antropogenicznego i zamianą naturalnych terenów zielonych na betonowe i asfaltowe (MATUSZKO 2001, 2003). Według LEWIŃSKIEJ (2000), chmury kłębiaste nad obszarem miasta tworzą się o około 300–600 m wyżej niż nad terenami pozamiejskimi. Chmury *Cumulus* często pojawiają się nad obiektami emitującymi ciepło i parę wodną (elektrownie ciepłone, kombinaty metalurgiczne).

Udowodniono, że nie tylko wielkość, ale także rodzaj zachmurzenia, poprzez zmiany bodźców świetlnych, wpływa na stan psychofizyczny człowieka. Dni z zachmurzeniem całkowitym, a w szczególności przedłużające się okresy pogody pochmurnej, niekorzystnie wpływają na układ hormonalny i aktywność biologiczną organizmu, zmniejszają jego odporność, powodują również obciążenie psychiczne przejawiające się zaburzeniami snu oraz uczuciem zmęczenia (KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA i współaut. 2004).

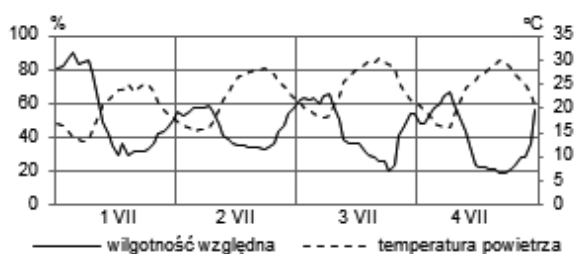
WIDZIALNOŚĆ

Miasto powszechnie uważane jest za bardziej mgliste niż tereny zamiejskie. Przekonanie to nie znajduje jednak potwierdzenia w badaniach klimatu miast. W rzeczywistości obserwowana w większości miast zmniejszona widzialność jest spowodowana zanie-

czyszczeniami powietrza. Niektóre z cząstek tworzących te zanieczyszczenia są ze względu na skład chemiczny dobrymi jądrami kondensacji. Kondensacja pary wodnej może wtedy zachodzić nawet w warunkach dalekich od nasycenia. Proces ten nazywany jest topieniem aerozoli, a za ograniczenie widzialności odpowiadają zamglenia złożone z kropelek o średnicy 0,02 μm (FORTUNIAK 2003, SKRZYPSKI 2012).

WILGOTNOŚĆ POWIETRZA

O odrębności klimatu miasta świadczą także warunki wilgotnościowe. Są one ściśle uzależnione od temperatury powietrza (Ryc. 1), a zabudowa miejska oraz obszary zielone dodatkowo wpływają modyfikująco na ten element klimatu miasta.



Ryc. 1. Przebieg wartości wilgotności względnej (%) i temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$) w centrum Szczecina w dniach 1–4 lipca 2010 r.

O warunkach wilgotnościowych decydujących o komforcie zdrowotnym ludzi i zwierząt świadczy wilgotność względna powietrza, czyli procentowa zawartość pary wodnej w powietrzu, w stosunku do jej zawartości maksymalnej w danej temperaturze. Dla człowieka optymalna wartość wilgotności względnej w pomieszczeniach zamkniętych, zależnie od temperatury, wynosi od 40% do 60% (SKRZYŃOWSKA 2012). Zarówno zbyt suche, jak i nadmiernie wilgotne powietrze wzmaga patologie skóry oraz układu oddechowego. Wilgotność powietrza ma również znaczący wpływ na przebieg chorób alergicznych. Przykładowo, katar sienny jest bardziej nasilony, gdy jest sucho, z kolei duszność astmatyczna częściej występuje przy wyższej wilgotności względnej powietrza (CHORAŻEWICZ 2011). Wilgotność względna powietrza w miastach jest zwykle niższa niż na terenach pozamiejskich, stąd zasadność wyrażanej opinii o wysuszającej roli miast (WYPYCH 2007, DUDEK i współaut. 2008, USCKA-KOWALKOWSKA i współaut. 2014, MATUSZKO i PIOTROWICZ 2015).

Niektórzy badacze zwracają uwagę na wyższą zawartość pary wodnej w powietrzu miejskim, biorąc pod uwagę wilgotność bezwzględną powietrza, tj. masę pary wodnej w gramach zawartą w 1 m^3 powietrza (LEWIŃSKA 2000). Zdarza się to w okresie letnim, gdy temperatura w aglomeracjach miejskich bywa o 2–3 $^{\circ}\text{C}$ wyższa od temperatury na terenach podmiejskich. Przykładowo, gdy napływające do miasta powietrze o temp. 24 $^{\circ}\text{C}$ i wilgotności 60% zostanie ogrzane do 27 $^{\circ}\text{C}$, to jego wilgotność względna obniży się do 50%. Obniżenie względnej wilgotności stymuluje zwiększone parowanie z miejskich parków, terenów rekreacyjnych, zbiorników wodnych itp. Wzmożone parowanie częściowo kompensuje zmniejszenie wilgotności względnej powietrza. W efekcie, na terenach aglomeracji miejskich wskutek podwyższenia temperatury następuje zarówno obniżenie wilgotności względnej, jak i wzrost zawartości masy pary wodnej w powietrzu, czyli zwiększenie wilgotności bezwzględnej.

OPADY ATMOSFERYCZNE

W obszarach zurbanizowanych zmianie ulega również rozkład opadów atmosferycznych. W porównaniu z regionami pozamiejskimi, na terenie miasta ulegają zwiększeniu takie wielkości jak suma opadu, liczba dni z opadem oraz wydłużenie czasu ich trwania, a także wzrost częstości występowania opadów gradu, burz i opadów o silnym natężeniu (LEWIŃSKA 2000, DUBICKA i SZYMANOWSKI 2001, MATUSZKO 2001, MATUSZKO i PIOTROWICZ 2015). Najwyższe sumy opadu notowane są nie w samym centrum miasta, ale po jego zawiętrznej stronie. BARANOWSKI i współaut. (2008) wykazali, że w Warszawie w okresie 7 miesięcy (IV–X) sumy opadów po stronie wschodniej miasta (zawiętrznej) były średnio wyższe o 44% w stosunku do centrum miasta i o 36% w stosunku do zachodnich przedmieść miasta, czyli terenów po stronie dowietrznej. Według LEWIŃSKIEJ (2000) głównymi przyczynami większych opadów w mieście są: konwekcja termiczna i silne prądy wstępujące, miejska wyspa ciepła oraz związana z nią równowaga chwiejna powietrza, turbulencja mechaniczna, wzrost zanieczyszczeń powietrza stanowiących aktywne jądra kondensacji i zwiększenie zawartości pary wodnej. Wyższe opady na terenach miejskich przyczyniają się do poprawy jakości powietrza, zaś niekorzystnym skutkiem jest wzrost zanieczyszczeń wód gruntowych i utrudnienia komunikacyjne związane z występowaniem opadów (TAMULEWICZ 1997). Charakterystyczną cechą obszarów zurbanizowanych jest również zmniejszona częstość opadów śniegu

i krótszy okres zalegania pokrywy śnieżnej. Niekiedy występowanie pokrywy śnieżnej ma charakter epizodyczny.

WIATR

Indywidualność klimatu obszarów zurbanizowanych przejawia się także znaczącą modyfikacją warunków anemometrycznych. Miejska zabudowa o zmiennej wysokości budynków powoduje wzrost szorstkości aerodynamicznej podłoża, czego konsekwencją jest mniejsza prędkość wiatru o 20–30%, a w centrum nawet o 30–50%, częściej notowane są wiatry słabe i bardzo słabe, a rzadziej wiatry silne (LEWIŃSKA 2000, FORTUNIAK I KŁYSIK 2008, NIDZGORSKA-LENCEWICZ I CZARNECKA 2011) (Ryc. 2b).

Rozległe struktury urbanistyczne deformują regionalne pole wiatru nie tylko przy powierzchni ziemi (Ryc. 2a) ale także w układzie pionowym, nawet na kilkaset metrów nad miastem (SKRZYPSKI 2012). O wyraźnym zmniejszeniu prędkości wiatru w mieście świadczy również częstość występowania cisz atmosferycznych. Badania NIDZGORSKIEJ-LENCEWICZ I CZARNECKIEJ (2011) wykazały, że w warunkach zwartej zabudowy centrum Szczecina w godzinach nocnych w okresie wiosny i lata cisze atmosferyczne stanowią nawet 30%, a w luźniejszej zabudowie osiedlowej blisko 25%.

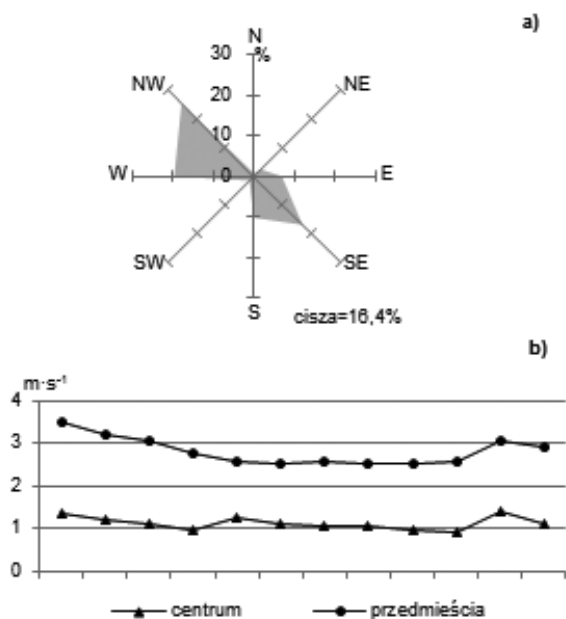
W charakterystyce klimatu miasta pojawia się pojęcie tzw. bryzy miejskiej. Jest to

okresowy wiatr lokalny wynikający z różnicy temperatury i ciśnienia powietrza dwóch ośrodków: miasta i terenów otaczających miasto. Charakterystyczną cechą bryzy miejskiej jest przyziemny napływ powietrza, zawsze z peryferii w kierunku centrum miast. Zbiegające się w mieście strumienie powietrza kierują się ku górze (nawet na kilkaset metrów), a następnie przemieszczają się ku obrzeżom („antybryza”). Bryza miejska ściśle wiąże się z istnieniem miejskiej wyspy ciepła (ang. urban heat island, UHI) (patrz MIEJSKA WYSPA CIEPŁA), a ich wzajemne oddziaływanie należy postrzegać jako samoregulujący się system z ujemnym sprzężeniem zwrotnym według schematu (SZYMANOWSKI 2004): → wzrost intensywności UHI → wzrost poziomego gradientu ciśnienia → rozwój bryzy → adwekcja (napływ) chłodu → spadek intensywności UHI → zanik bryzy → wzrost intensywności UHI.

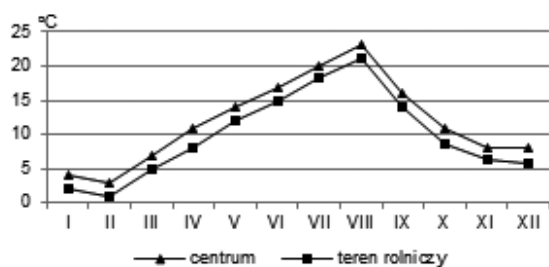
TAMULEWICZ (1997) zwraca uwagę, że lokalna cyrkulacja na terenie miasta może mieć dwojaki skutki. Do korzystnych aspektów zaliczyć można m.in. generowanie napływu powietrza z obszarów otaczających miasto, a także poprawę warunków przewietrzenia i samooczyszczania się atmosfery. Z kolei niekorzystne działanie systemów lokalnej cyrkulacji może polegać m.in. na napływie zanieczyszczonego powietrza z obszarów uprzemysłowionych, występowaniu tzw. efektów tunelowych, powodujących znaczny wzrost prędkości wiatru w wąskich arteriach, a także wzrost strat ciepła z otoczenia w dniach chłodnych.

MIEJSKA WYSPA CIEPŁA

Najbardziej charakterystyczną, a jednocześnie najlepiej udokumentowaną cechą klimatu obszarów zurbanizowanych jest wzrost temperatury powietrza w mieście, w stosunku do terenów otaczających, pozamiejskich (Ryc. 3). Zjawisko to znane jest już od blisko 200 lat i określane jako miejska wyspa ciepła (FORTUNIAK 2003, SZYMANOWSKI 2004). Geneza słowa „wyspa” związana jest z obrazem izoterm, które wykreślone na planie miasta przyjmują kształt podobny do konturu wyspy otoczonej morzem chłodniejszego powietrza. Oprócz zasięgu przestrzennego, UHI odznacza się także budową pionową. Zwykle sięga ona 200–300 m nad poziomem gruntu, co odpowiada 3–5-krotnie średniej wysokości zabudowy (maksymalnie do 500 m przy bezchmurnym niebie). UHI powstaje w wyniku akumulacji ciepła przez materiały, z których zbudowane są budynki, place, ulice, itp., które pochłaniają więcej promieni słonecznych niż odbijają. Znaczącą rolę odgrywa też ciepło antropogeniczne



Ryc. 2. Zdeformowana róża wiatrów w centrum (a) oraz średnie miesięczne prędkości wiatru w centrum oraz na północnych przedmieściach Szczecina (b) w latach 2005–2009.



Ryc. 3. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza w centrum Szczecina i na terenie rolniczym (poza miastem) w 2015 r.

produkowane przez urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne, przemysł, ruch samochodowy itp. Miejską wyspę ciepła charakteryzuje duża zmienność natężenia (intensywności) w ciągu doby i w roku. Największe różnice temperatury powietrza mają miejsce podczas pogodnych, bezchmurnych i bezwietrznych nocy, zwłaszcza zimą. Badania prowadzone we Wrocławiu wykazały, że wzrost prędkości wiatru powyżej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w nocy i $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w dzień, bez względu na stopień zachmurzenia, powoduje zanik lub znaczne obniżenie intensywności UHI (SZYMANOWSKI 2004). Istnieje także wyraźna zależność między wielkością miasta a natężeniem UHI. OKE (1973) wykazał, że maksymalne natężenie UHI jest liniową funkcją logarytmu wielkości populacji miejskiej. Przykładowo, w dużych miastach amerykańskich i przy sprzyjających warunkach pogodowych różnice temperatury między centrum a peryfe-

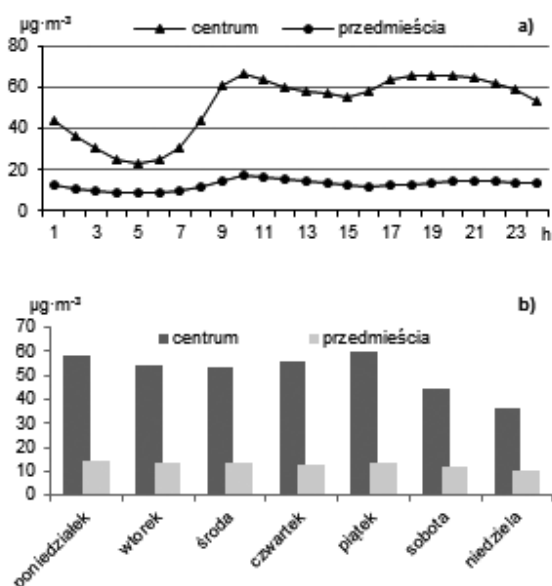
riami mogą przekraczać 12°C , natomiast w polskich miastach średniej wielkości (Toruń, Lublin) najczęściej wynoszą do $4\text{--}5^\circ\text{C}$, a w miastach większych (Gdańsk, Łódź, Kraków, Szczecin, Wrocław, Warszawa) natężenie dobrze rozwiniętej UHI może sięgać $6\text{--}10^\circ\text{C}$ (KASZEWSKI i SIWEK 1999, FORTUNIAK 2003, SZYMANOWSKI 2004, MICHALSKA i MAKOSZA 2008, CZARNECKA i współaut. 2011, CZARNECKA i NIDZGORSKA-LENCEWICZ 2014, BŁAŻEJCZYK i współaut. 2014, MATUSZKO i PIOTROWICZ 2015). W Polsce, największą jak dotąd, udokumentowaną różnicę temperatury, wynoszącą 12°C , zarejestrowano w Łodzi w zimową noc (5/6.02) w 1996 r. (FORTUNIAK i KŁYSIK 2008).

Przyjmuje się, że obecność UHI wpływa negatywnie na jakość życia mieszkańców dużych miast poprzez wzrost dyskomfortu termicznego, zwiększenie częstości odczucia parności i deficyt tlenu. Pozytywne konsekwencje występowania UHI to wzbudzenie lokalnej cyrkulacji (bryza miejska), nasilenie procesów konwekcyjnych i zmniejszenie częstości występowania inwersji przygruntowych a w efekcie lepsze przewietrzanie miast. W okresach szczególnie gorących i upalnych zjawisko UHI utrudnia oddawanie ciepła i regenerację organizmu w godzinach wieczornych i nocnych, co potęguje niekorzystny wpływ fal upałów na człowieka. Doświadczyło tego wielu mieszkańców miast Europy Zachodniej w sierpniu 2003, kiedy np. w Paryżu tylko jednego dnia liczba odnotowanych zgonów przekroczyła średnią dzienną o 600% (TOMCZYK 2015).

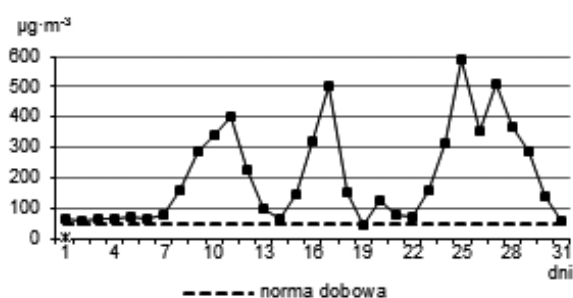
ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

O ile fenomen UHI jest szczególną i powszechnie znaną osobliwością wyróżniającą miasto, to jednak cechą najbardziej charakterystyczną dla klimatu miast, jednocześnie jednoznacznie obniżającą komfort życia, jest duże zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego. Obszary zurbanizowane, w porównaniu z terenami zamieszkimi, cechuje nie tylko wyższy poziom stężeń zanieczyszczeń, ale również odmienna, wyraźna struktura i cykliczna (w skali roku, sezonów, tygodnia, doby) zmienność w czasie, co zostało udokumentowane w wielu pracach (np. MAJEWSKI i współaut. 2011, ROZBICKA i współaut. 2014). Jako przykład przedstawiono przeciętną zmienność tlenków azotu (NO_x) w ciągu doby oraz tygodnia, wyraźnie odzwierciedlającą natężenie ruchu (Ryc. 4).

Zgodnie z raportem Europejskiej Agencji Środowiska (ang. European Environment Agency, EEA 2015) oceniającym jakość powietrza w Europie począwszy od 2004 r., stan powietrza ulega systematycznej popra-



Ryc. 4. Struktura dobowo (a) oraz tygodniowo (b) tlenków azotu NO_x w Szczecinie w latach 2005-2007.



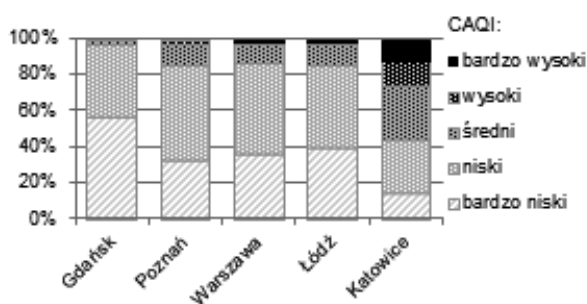
Ryc. 5. Średnie dobowe stężenie PM₁₀ w styczeniu 2006 roku w Krakowie.

wie na skutek malejącej emisji SO_x, NO_x, NH₃, PM₁₀, PM_{2,5}, NMVOC, CO i BC. Jedyną substancją, dla której odnotowano wzrost emisji był benzo(a)piren (BaP). Według przytoczonych w raporcie szacunków Komisji Europejskiej całkowite koszty spowodowane zanieczyszczeniem powietrza w Unii Europejskiej wynoszą 330–940 miliardów euro rocznie (dane za 2010 r.). Problemem wciąż nierozwiązanym zarówno Polski (PMŚ 2014), jak i innych krajów Europy Środkowej oraz Środkowo-Wschodniej są znaczne przekroczenia dopuszczalnych stężeń pyłów o średnicy mniejszej niż 10 µm (PM₁₀) i 2,5 µm (PM_{2,5}) oraz benzo(a)pirenu, do których najczęściej dochodzi na obszarach miejskich i podmiejskich, przy czym Polska, niestety jest w niechlubnej czołówce. Z raportu EEA (2015) wynika, że w Unii Europejskiej od 17% do 30% populacji miejskich było w latach 2011–2013 narażonych na dobowe wartości stężenia PM₁₀ powyżej przyjętej wartości granicznej wynoszącej 50 µg·m⁻³. Przy uwzględnieniu surowszych norm WHO odsetek ten wzrasta do 61–83%. Warto mieć przy tym na uwadze, że podczas epizodów smogowych rejestrowane wartości stężeń nawet kilkakrotnie przewyższają normę. Przykładowo, w ekstremalnie mroźnym styczeniu 2006 r. średnie dobowe stężenia PM₁₀ w Krakowie trzykrotnie przekroczyły 500 µg·m⁻³ (Ryc. 5).

Najnowszy raport Światowej Organizacji Zdrowia (WHO 2016) oceniający jakość powietrza w miastach na świecie (ponad 3 tys. miast ze 103 krajów) według średnich rocznych stężeń PM_{2,5} wskazuje, że aż 33 z 50 najbardziej zanieczyszczonych miast Europy leży w naszym kraju. Listę rozpoczyna Żywiec, gdzie średnie roczne stężenie pyłów o średnicy 2,5 µm (PM_{2,5}) przekracza 40 µg·m⁻³, podczas gdy wytyczne WHO wskazują, że maksymalny, dopuszczalny dla zdrowia poziom nie powinien przekraczać 10 µg·m⁻³. PM_{2,5} zaliczany jest do najbardziej szkodliwych dla zdrowia człowieka za-

nieczyszczeń atmosferycznych. Według WHO długotrwałe narażenie na działanie pyłu zawieszonego PM_{2,5} skutkuje skróceniem średniej długości życia, a krótkotrwała ekspozycja na wysokie jego stężenia powoduje wzrost liczby zgonów z powodu chorób układu oddechowego i krążenia oraz wzrost ryzyka nagłych przypadków wymagających hospitalizacji w wyniku nasilenia astmy, ostrej reakcji układu oddechowego bądź osłabienia czynności płuc (WHO 2016).

O jakości powietrza decyduje nie tylko wielkość emisji, ale także warunki dyspersji zanieczyszczeń, czyli możliwości ich rozprzestrzeniania w atmosferze oraz przemiany chemiczne i fizyczne jakim podlegają zanieczyszczenia znajdujące się w powietrzu. W wielu pracach wykazano, że zmienność imisji (stężeń) podstawowych zanieczyszczeń powietrza, ich rozpraszanie lub koncentracja, w dużym stopniu uwarunkowana jest przebiegiem warunków meteorologicznych (LAZARIDIS 2011, MALEK i współaut. 2006, RAWICKI 2014, NIDZGORSKA-LENCEWICZ i CZARNECKA 2015, CZARNECKA i współaut. 2016). Ważną rolę odgrywa również topografia terenu, zwłaszcza położenie w kotlinach lub dolinach o słabym przewietrzeniu (doskonałym przykładem jest Kraków), a w przypadku emisji ze źródeł punktowych również wysokość i konstrukcja kominów oraz zabudowa. W warunkach miejskich determinantą jakości powietrza jest również obecność UHI; jej intensywność wywiera istotny wpływ na wysokość stężeń zanieczyszczeń, na co wskazują m.in. wyniki POUPEKOU i współaut. (2011) uzyskane dla Thessalonik czy CZARNECKIEJ i NIDZGORSKIEJ-LENCEWICZ (2014) dla Gdańska. Dla zdrowia ludzkiego szczególnie niebezpieczne są epizody nagłego i silnego zanieczyszczenia powietrza nazywane smogiem. Współcześnie wyróżnia się dwa rodzaje smogów o zasadniczo odmiennej genezie i charakterystyce. Obserwowany w warunkach zimowych smog londyński (zwany też kwaśnym czy czarnym) tworzą zanieczyszczenia wyemitowane pierwotnie, głównie pyły i SO₂, część SO₂ podlega jednak konwersji chemicznej, co prowadzi do wytworzenia kwaśnego aerozolu. Z kolei smog fotochemiczny (zwany też kalifornijskim, utleniającym letnim, wtórnym) obserwowany wiosną i latem, jest mieszaniną wielu substancji, które powstają w powietrzu wskutek następujących po sobie złożonych przemianach substancji wyemitowanych pierwotnie. Obydwa rodzaje smogów są ściśle związane z występowaniem pogody antycyklonalnej i słabego wiatru (WALCZEWSKI 2005). W przypadku smogu fotochemicznego istotną rolę odgrywa nasłonecznienie i temperatura powietrza, których wysokie wartości inicjują reakcje



Ryc. 6. Częstość klas indeksu CAQI w wybranych miastach w styczniu 2014 r.

fotocemiczne. Największe zagrożenie smogiem fotocemicznym dotyczy miast położonych w głębokich dolinach, zwłaszcza gdy ich dno jest znacząco wyniesione n.p.m., co zwiększa intensywność promieniowania UV (np. miasto Meksyk). Słabe smogi fotocemiczne notowane są latem także w największych miastach Polski (zwłaszcza w Warszawie, Krakowie i miastach Górnego Śląska), w których intensywność ruchu samochodowego jest największa. Z kolei silniejszy smog zimowy pojawia się stosunkowo często w Krakowie. Słabsze smogi rejestrowane są też w innych większych miastach w szczególności Polski południowej (SKRZYPSKI 2012). W Polsce północnej i centralnej ze względu na lepsze warunki przewietrzania sytuacje smogowe stanowią nieco mniejszy problem.

W ostatnim czasie popularność zyskują indeksy, które w przystępny i porównywalny sposób obrazują stan zanieczyszczenia powietrza, z uwzględnieniem jego szkodliwości dla zdrowia człowieka. Przykładowo, na interaktywnej platformie <http://aqicn.org/city/> można sprawdzać w czasie rzeczywistym jakość powietrza wyrażaną jako indeks AQI (ang. Air Quality Index) w wybranych miastach na świecie. Indeks AQI został opracowany przez Agencję Ochrony Środowiska (ang. Environmental Protection Agency, EPA) i opiera się na wartościach stężeń głównych zanieczyszczeń powietrza (PM_{10} , $PM_{2,5}$, O_3 , SO_2 , NO_2). Poziom stężeń wymienionych zanieczyszczeń jest podstawą do oceny jakości powietrza i zakwalifikowania do jednej z sześciu klas, od dobrej do niebezpiecznej dla zdrowia człowieka. Na podobnych zasadach opracowano indeks CAQI (ang. Common Air Quality Index), który powstał w ramach projektu CITEAIR dla ułatwienia porównywania jakości powietrza w różnych miastach Europy (<http://www.airqualitynow.eu>), a jego 5 klas nawiązuje do obowiązujących w krajach Unii Europejskiej standardów jakości powietrza. Indeks CAQI funkcjonuje

je jako indeks komunikacyjny (obliczony według wartości stężeń NO_2 i PM_{10} , $PM_{2,5}$ i CO) oraz indeks tła miejskiego (według wartości stężeń NO_2 , PM_{10} i O_3 , $PM_{2,5}$, CO i SO_2). Ryc. 6 przedstawia jakość powietrza określoną indeksem CAQI (tła miejskiego) w styczniu 2014 r. w wybranych miastach Polski. Najlepsze warunki aerosanitarne panowały wtedy w Gdańsku, a najgorsze w Katowicach.

ŁAGODZENIE SKUTKÓW ANтропоГЕНИЗАЦИИ W MIEŚCIE

Rozwój miast, wymuszony czynnikami ekonomicznymi i społecznymi, jest procesem ciągłym, ale niekontrolowanym pod względem presji na środowisko naturalne. Wzrost świadomości ekologicznej i wiedzy o procesach klimatotwórczych, a także już odczuwalne zmiany klimatu, determinują nowe kierunki polityki miejskiej, wskazując zwłaszcza na intensyfikację działań w zakresie melioracji klimatu miast. Melioracja klimatu miast jest ukierunkowana na ograniczenie i likwidację antropogenicznych przyczyn generujących przede wszystkim uciążliwe warunki termiczne odczuwalne i niekorzystne warunki aerosanitarne. Szczególnie pozytywną rolę przypisuje się tu roślinności, zieleni miejskiej (trawniki, skwery, parki, przydrożne i pojedyncze drzewa), przy czym największą rolę odgrywa roślinność wysoka. Tereny zieleni, w zależności od rodzaju i powierzchni, zwłaszcza latem, obniżają znacznie temperaturę powietrza, np. maksymalną o 10–25%, a średnią dobową o 7–20% oraz podnoszą temperaturę minimalną o 5–15%. Przykładem działania zieleni może być Atlanta (USA), gdzie przez zwiększenia obszarów pokrytych szatą roślinną zmniejszono o 1/3 zasięg wysp ciepła, co przełożyło się na wyraźne efekty ekonomiczne oszczędności energii zużywanej na ochładzanie pomieszczeń (SZCZEPANOWSKA 2007). Tereny zielone odgrywają ważną rolę także w efektywnej wentylacji miast, za którą odpowiedzialny jest poprawnie zaprojektowany system wymiany i regeneracji powietrza. Napływ czystego powietrza przy wiatrach z różnych kierunków zapewniać powinny korytarze i zielone pierścienie, które należy tworzyć wokół dużych miast. Przede wszystkim należy dążyć do zwiększenia obszarów leśnych w ciągach głównych korytarzy ekologicznych, z kontynuacją w strefie pozamiejskiej i wokół miast (KLIMADA 2016).

Streszczenie

Obszary zurbanizowane stanowią znaczną część przestrzeni geograficznej i charakteryzują się dużą dynamiką ekspansji, co przejawia się nie tylko zmianą krajobrazu, ale także ma wpływ na zdrowie i życie ich

mieszkańców. Miasta odznaczają się istnieniem antropogenicznych powierzchni czynnych, które silnie modyfikują strukturę przebiegu poszczególnych elementów pogodowych, dlatego charakteryzują się odmiennym topoklimatem. W artykule przedstawiono wpływ miasta na promieniowanie słoneczne, zachmurzenie, widoczność, wilgotność powietrza, opady, kierunek i prędkość wiatru, temperaturę powietrza (miejska wyspa ciepła) i zanieczyszczenia powietrza.

LITERATURA

- BARANOWSKI J., KUCHCIK M., ADAMCZYK A. B., BŁAŻEJCZYK K., 2008. *Zróźnicowanie opadów atmosferycznych w Warszawie i okolicach*. [W:] *Klimat i bioklimat miast*. KŁYSIK K., WIBIG J., FORTUNIAK K. (red.). Wyd. Univ. Łódzkiego, 81-90.
- BŁAŻEJCZYK K., KOZŁOWSKA-SZCZESNA T., 2008. *Klimat a zdrowie*. Kosmos 57, 269-279.
- BŁAŻEJCZYK K., KUCHCIK M., MILEWSKI P., DUDEK W., KRĘCISZ B., BŁAŻEJCZYK A., SZMYD J., DEGÓRSKA B., PAŁCZYŃSKI C. M., 2014. *Miejska wyspa ciepła w Warszawie: uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*. Wyd. Akad. SEDNO Sp. z oo.
- CHORAŻEWICZ M., 2011. *Wpływ pogody na człowieka – fakty i mity*. http://www.wiadomosci24.pl/artykul/wpływ_pogody_na_czlowieka_fakty_i_mity_199988.html.
- CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., 2014. *Intensity of urban heat island and air quality in Gdańsk during 2010 heat wave*. Pol. J. Environ. Stud. 23, 41-52.
- CZARNECKA M., MAKOSZA A., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., 2011. *Variability of meteorological elements shaping biometeorological conditions in Szczecin, Poland*. Theor. Appl. Climatol. 104, 101-110.
- CZARNECKA M., NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., RAWICKI K., 2016. *Thermal inversions and sulphure dioxide concentrations in some Polish cities in the winter season*. J. Elem. 21, 1001-1015.
- DUBICKA M., SZYMANOWSKI M., 2001. *Modyfikowanie klimatu lokalnego przez obszary zurbanizowane*. [W:] *Kształtowanie przestrzeni zurbanizowanej w myśl zasad ekorozwoju*. Polski Klub Ekologiczny, Wrocław, 41-52.
- DUDEK S., KUŚMIEREK R., ŻARSKI J., 2008. *Porównanie wybranych elementów meteorologicznych w Bydgoszczy i jej okolicy*. Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 17, 35-41.
- EEA, 2015. *Air quality in Europe - 2015 report*. No 5. European Environment Agency.
- FORTUNIAK K., 2003. *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wyd. Univ. Łódzkiego, Łódź.
- FORTUNIAK K., KŁYSIK K., 2008. *Osobliwości klimatu miast na przykładzie Łodzi*. [W:] *Klimat i bioklimat miast*. KŁYSIK K., WIBIG J., FORTUNIAK K. (red.). Wyd. Univ. Łódzkiego, 477-488.
- HUSZAR P., JUDA-REZLER K., HALENKA T., CHERVENKOV H., SYRAKOV D., KRÜGER B. C., ZANIS P., MELAS D., KATRAGKOU E., REIZER M., TRAPP W., BELDA M., 2011. *Effects of climate change on ozone and particulate matter over Central and Eastern Europe*. Clim. Res. 50, 51-68.
- JACOB D. J., WINNER D. A., 2009. *Effect of climate change on air quality*. Atm. Environ. 43, 51-63.
- KASZEWSKI B.M., SIWEK K., 1999. *Cechy przebiegu dobowego temperatury powietrza w centrum i na peryferiach Lublina*. [W:] *Klimat i bioklimat miast*. KŁYSIK K. (red.) Acta Univ. Lodz., Folia Geograph. Phys. 3, 213-220.
- KLIMADA, 2016. *Adaptacja do zmian klimatu*, <http://klimada.mos.gov.pl/> > 31.07.2016.
- KOZŁOWSKA-SZCZESNA T., KRAWCZYK B., KUCHCIK M., 2004. *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*. Monografie 4, IGiPZ PAN.
- KUCHCIK M., BŁAŻEJCZYK K., SZMYD J., MILEWSKI P., BŁAŻEJCZYK A., BARANOWSKI J., 2013. *Potencjał leczniczy klimatu Polski*. IGiPZ PAN, Wyd. Akad. SEDNO.
- KUNDZEWICZ Z.W., JUDA-REZLER K., 2010. *Zagrożenia związane ze zmianami klimatu*. Nauka 4, 69-76.
- LAZARIDIS M., 2011. *First principles of meteorology and air pollution*. Springer, 362
- LEWIŃSKA J., 2000. *Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie*. Inst. Gosp. Przestrz. I Komun. Kraków, 151.
- MALEK E., DAVIS T., MARTIN R.S., SILVA P.J., 2006. *Meteorological and environmental aspects of one of the worst national air pollution episodes (January, 2004) in Logan, Cache Valley, Utah, USA*. Atmos. Res. 79, 108-122.
- MAJEWSKI G., KLENIEWSKA M., BRANDYK A., 2011. *Seasonal variation of particulate matter mass concentration and content of metals*. Pol. J. Environ. Stud. 20, 417-427.
- MATUSZKO D., 2001. *Wpływ miasta na zachmurzenie i opady (na przykładzie Krakowa)*. [W:] *Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie*. GERMAN K., BALON J., (red.). Problemy Ekologii Krajobrazu, 10, IGiP UJ, Kraków, 529-536.
- MATUSZKO D., 2003. *Cloudiness changes in Cracow in the 20th Century*. Int. J. Climatol., 23, 975-984.
- MATUSZKO D., PIOTROWICZ K., 2015. *Cechy klimatu miasta a klimat Krakowa*. [W:] *Miasto w badaniach geografów. Tom 1*. TRZEPACZ P., WIEŚLAW-MICHNIEWSKA J., BRZOSKO-SERMAK A., KOŁOŚ A. (red.). IGiP UJ, Kraków, 221-240.
- MICHALSKA B., MAKOSZA A., 2008. *Dobowe kontrasty termiczne terenów miejskiego i rolniczego*. Balneol. Pol. 4, 331-340.
- NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., CZARNECKA M., 2011. *Deformacja warunków anemometrycznych w Szczecinie*. Prace i Studia Geograficzne, 47, 401-408.
- NIDZGORSKA-LENCEWICZ J., CZARNECKA M., 2015. *Winter weather conditions vs. air quality in Tricity, Poland*. Theor. Appl. Climatol. 119, 611-627/
- OKE T. R., 1973. *City size and the urban heat island*. Atm. Environ. 7, 769-779.
- POUPKOU A., NASTO P., MELAS D. CHRISTOS ZEREFOS C., 2011. *Climatology of discomfort index and air quality index in a large urban mediterranean agglomeration*. Water Air Soil Pollut. 222, 163-183.
- RAWICKI K., 2014. *Variability of particulate matter concentrations in Poland in the winter 2012/2013*. Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zotech. 312, 143-152.
- ROZBICKA K., MAJEWSKI G., ROZBICKI T., 2014. *Seasonal variation of air pollution in Warsaw conurbation*. Meteorol. Zeits. 23, 175-179.
- SKRZYŃIOWSKA D., 2012. *Parametry powietrza wewnątrz pomieszczeń do stałego przebywania ludzi (komfort cieplny a komfort środowiskowy)*. Czas. Techn. Środowisko. Wyd. Polit. Krak. 4-Ś, 28, 15-35.

- SKRZYPSKI K., 2012. *Klimat miast*. [W:] *Geografia urbanistyczna*. LISZEWSKI L. (red). Wydawnictwo Naukowe PWN, 45-86.
- SZCZEPANOWSKA H. B., 2007. *Ekologiczne, społeczne i ekonomiczne korzyści z drzew na terenach zurbanizowanych*. *Człowiek i Środowisko* 31, 5-26.
- SZYMANOWSKI M., 2004. *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*. Wyd. Uniw. Warsz. Stud. Geograf. 77.
- TAMULEWICZ J., 1997. *Klimat obszarów zurbanizowanych* [W:] *Pogoda i klimat Ziemi*, „Wielka Encyklopedia Geograficzna Świata”, T. 5. Kurpisz, Poznań, 331-341.
- TOMCZYK A. M., 2015. *Najdłuższa fala upałów oraz fala mrozów w Poznaniu na tle cyrkulacji atmosferycznej*. *Acta Geograph. Siles.* 19, 67-71
- USCKA-KOWALKOWSKA J., RAJMUND PRZYBYŁAK R., KUNZ M., MASZEWSKI R., ARAŻNY A., KEJNA M., 2014. *Zróźnicowanie wilgotności powietrza na terenie Torunia w 2012 roku*. *Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ.* 66, 393-409.
- WALCZEWSKI J., 2005. *Meteorologiczne i klimatyczne warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza*. *Przeł. Geofiz* 3-4, 177-193.
- WHO, 2009. *Environment and health performance review Poland*. World Health Organization. www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/95333/E92584.pdf.
- WHO, 2016. *Global urban ambient air pollution database*. World Health Organization. www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_database_summary_results_2016_v02.pdf.
- WYPYCH A., 2007. *Wilgotność powietrza*. [W:] *Klimat Krakowa w XX w.* MATUSZKO D. (red.). IGiP UJ, 113-125
- ŻMUDZKA E., 2008. *Zmiany zachmurzenia w Warszawie w drugiej połowie XX wieku*. [W:] *Klimat i bioklimat miast*. KŁYSIK K., WIBIG J., FORTUNIAK K. (red.). Wyd. Uniw. Łódzkiego, 165-178.

KOSMOS Vol. 65, 4, 637-645, 2016

JADWIGA NIDZGORSKA-LENCEWICZ, AGNIESZKA MAKOSZA

Department of Meteorology and Green Areas Management, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Papieża Pawła VI 3A, 71-459 Szczecin, e-mail: jnidzgorska@zut.edu.pl, agnieszka.makosza@zut.edu.pl

SPECIFIC FEATURES OF THE CITIES CLIMATE IN THE ASPECT OF HUMAN HEALTH

Summary

Urban areas constitute a substantial share of geographical area and are characterised by a high expansion dynamics, which is manifested not only by changes in landscape scenery but also in health and life conditions of the inhabitants. The cities are marked with anthropogenic active areas which greatly modify the course of particular weather elements. The article presents the impact of the city on the spectrum of solar radiation, cloud cover, visibility, humidity, precipitation, wind direction and speed, air temperature (urban neat island) and air pollution.