

BOŻENA DEGÓRSKA

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
w Warszawie

**WRAŻLIWOŚĆ I ADAPTACJA DUŻYCH MIAST
DO ZMIAN KLIMATU W KONTEKŚCIE WZROSTU
TEMPERATURY POWIETRZA**

Abstract Sensitivity and Adaptation of Large Cities to Climate Changes in the Context of High Air Temperature. In the twenty-first century, the largest changes in climatic and weather conditions in Poland will include an increase in air temperature and increase in the level of onerousness and in the frequency of the so-called extreme weather phenomena, mainly floods, hot days and heat waves, hydrological and soil droughts, hurricanes and landslides.

This paper is focused on the evaluation of the sensitivity and identification of the necessary directions of adaptations for large cities to high temperature. Increase in the air temperature has significant impact on functioning of the environment, society, economy and infrastructure, thus taking this phenomenon and its prospective effects into account in the process of spatial planning has become a necessary requirement.

Due to the large concentration of population and the possibility of synergic effect of unfavourable factors (high temperature, air pollution, allergens), the most negative impact of high air temperature on quality of life and health will apply to inhabitants of large cities, especially the elderly and small children, people with diseases of the cardiovascular system and people with allergies.

Aim of this study is to evaluate the demographic thermal risk of large cities to the high air temperature, to identify urban factors generating the temperature rise in the strongly urbanized area of large cities and to indicate fields which need strengthening of adaptive actions in the field of urban planning, with the stress put on the possibility of a natural cooling of cities during periods of high air temperature.

Key words: Adaptation to climate changes, sustainable development, thermal risk, urban heat island (UHI).

Wprowadzenie

Uzyskiwanie jak najlepszych warunków życia obecnego pokolenia jak i przyszłych generacji należy do podstawowych celów wynikających z założeń konceptualnych zrównoważonego rozwoju. Człowiek, będący podmiotem systemu środowiska geograficznego ma niewątpliwe prawo do bezpiecznego życia w optymalnych dla siebie warunkach bytowych, kształtowanych przez interakcje procesów i zjawisk przyrodniczych społecznych oraz gospodarczych. Oprócz licznych czynników antropogenicznych niekorzystnie oddziałujących na bezpieczeństwo funkcjonowania systemu człowiek – środowisko, system ten podlega modyfikacjom związanym z procesami egzogenicznymi i endogenicznymi. Jednym z procesów nasilających się w ostatnim okresie, pozostającym w ścisłych współzależnościach z czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi jest postępujący wzrost temperatury powietrza i nasilanie się niebezpiecznych zjawisk pogodowych. Czynniki te wpływają zarówno na funkcjonowanie środowiska, jak i społeczeństwa i gospodarki, zatem uwzględnianie ich w procesie planowania przestrzennego staje się niezbędnym wymogiem.

W XXI w. największe zmiany warunków klimatycznych i pogodowych Polski będą obejmowały wzrost temperatury powietrza oraz tzw. ekstremalne zjawiska pogodowe, charakteryzujące się zwiększaniem uciążliwości i częstości występowania. Według wyników projektu KLIMADA¹ na obszarze Polski można oczekiwać następujących głównych tendencji zmian klimatu:

- wystąpi rosnąca tendencja zmian temperatury z wyraźnym wzrostem w ostatnim trzydziestoleciu XXI w., a głównie przyrost temperatury w zakresie temperatur niskich w okresie zimy, najsilniejszy w północno-wschodniej Polsce, w lecie większy będzie wzrost temperatur wysokich, zwłaszcza w południowo-wschodniej Polsce; nastąpi wydłużenie okresów z wysoką temperaturą a skrócenie okresów z niską;
- nastąpi stopniowe wydłużanie okresu wegetacyjnego, który w schyłkowym okresie XXI w. może trwać ok. 255 dni, a także liczba dni z aktywnym wzrostem roślin ($T > 10^{\circ}\text{C}$) głównie na Ziemi Lubuskiej, w Wielkopolsce, na Kujawach i Pomorzu, a lokalnie w południowo-wschodniej Polsce;

¹ Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu. Etap III *Adaptacja wrażliwych sektorów i obszarów Polski do zmian klimatu do roku 2070* [Sadowski 2013] [<http://klimada.mos.gov.pl/zmiany-klimatu-w-polsce/przyszle-zmiany-klimatu>, dostęp: 29.01.2014].

- zmaleje liczba dni z temperaturą minimalną mniejszą od 0°C a wrośnie liczba dni bardzo gorących z temperaturą maksymalną wyższą od 25°C, zwłaszcza na południowym wschodzie, a także dni upalnych (z temperaturą maksymalną $\geq 30^{\circ}\text{C}$ oraz ciągów dni z maksymalną temperaturą dobową powietrza $\geq 30^{\circ}\text{C}$ utrzymującą się przez co najmniej 3 dni (fale upałów);
- nastąpi zwiększenie opadów zimowych i zmniejszenie opadów letnich, wzrost sumy opadów maksymalnych, skrócenie okresu zalegania pokrywy śnieżnej, wydłużenie okresów bezopadowych głównie pod koniec stulecia, a także wzrost częstości opadów intensywnych (>10 mm/dobę) głównie we wschodniej części Polski oraz liczby dni z opadami ulewnymi (>20 mm/dobę) w południowej części Polski, w regionie Bieszczadów, a zmniejszenie w środkowej Polsce [Sadowski 2013].

Szczególne ryzyko dla jakości życia oraz funkcjonowania gospodarki i środowiska, a zatem dla zrównoważonego rozwoju niosą ekstremalne zjawiska pogodowe, których natężenie i częstość będzie ulegała zwiększaniu. Wśród najbardziej uciążliwych wymienić można wzrost zagrożenia powodzią i podtopieniami związany z większą częstością opadów intensywnych oraz wzrostem liczby dni z opadami ulewnymi oraz powodzi sztormowych, a także nasilenie innych zjawisk, m.in. huraganów, osuwisk, dni gorących i upalnych oraz fal gorąca i upałów, susz hydrologicznych i glebowych. Wzrost temperatury powietrza oraz ekstremalne zjawiska pogodowe w naszych szerokościach geograficznych będą przejawiać się w większości niekorzystnym oddziaływaniem na jakość życia oraz funkcjonowanie gospodarki i środowiska, jakkolwiek w odniesieniu do pewnych sektorów (np. turystyki i energetyki) można także wskazać na pewne pozytywne aspekty wzrostu temperatury.

Prognozowane zmiany klimatyczne dotyczą wielu aspektów organizacji przestrzeni od funkcjonowania organizmu człowieka, zwierząt, roślin i ekosystemów (m.in. obniżenie komfortu życia w okresach wysokich temperatur powietrza, zagrożenie dla zdrowia publicznego przez zwiększoną ekspozycję na czynniki chorobowe o charakterze środowiskowym, zagrożenie bezpieczeństwa, zmiany warunków siedliskowych, zasięgu gatunków, zmniejszanie różnorodności biologicznej, wymieranie gatunków lub pojawianie się nowych), przez gospodarkę rolną, leśną i wodną (m.in. wydłużenie okresu wegetacyjnego i aktywnego wzrostu roślin, zasięgu upraw, zmiana plonowania, pojawienie się nowych chorób i szkodników, niszczące susze, pożary, huragany, powodzie, podtopienia, intensywna erozja, zmiana stosunków wodnych oraz zapotrzebowania na wodę), przemysł, energetykę i infrastrukturę (m.in. zmiana podaży wody, zmiany zapotrzebowania na energię – skrócenie długości okresu grzewczego, wzrost zapotrzebowanie na

pracę klimatyzatorów i urządzeń chłodniczych, zagrożenia dla infrastruktury – powódzie, wichury, huragany, nadmierne zużycie energii), bezpieczeństwo ludzi i mienia, zarządzanie kryzysowe, służbę zdrowia (m.in. zagrożenia jakości życia i zdrowia związane z ekspozycją na powódzie i podtopienia, silną insolację i upały, sztormy, huragany, trąby powietrzne, osuwiska, pożary, wzrost poziomu morza), po turystykę (m.in. zmiana sezonu turystycznego, wzrost częstotliwości niekorzystnych zjawisk klimatycznych i pogodowych, lepsze warunki termiczne do funkcjonowania naturalnych kąpielisk).

W Polsce na zmiany klimatu, a głównie pogodowe zjawiska ekstremalne szczególnie narażone są doliny rzeczne, tereny nadmorskie, obszary górskie i podgórskie oraz obszary silnie zurbanizowane, a głównie duże miasta i obszary metropolitalne ze względu na największą koncentrację ludności, zabudowy i infrastruktury. Są to obszary najbardziej eksponowane na skutki zmian klimatu, a zatem najbardziej wrażliwe. Dalszy żywiołowy rozwój dużych miast, niedostatecznie uwzględniający ewentualne skutki zmian klimatu, spotęguje koszty społeczne, gospodarcze i środowiskowe funkcjonowania obszarów miejskich.

Celem prezentowanego opracowania jest ocena demograficznej wrażliwości dużych miast na wysoką temperaturę powietrza, identyfikacja urbanistycznych czynników generujących wzrost temperatury w przestrzeni silnie zurbanizowanej oraz wskazanie pól wymagających wzmocnienia działań adaptacyjnych i mitygacyjnych w zakresie planowania przestrzennego, uwzględniających możliwości naturalnego schładzania miast w okresach wysokiej temperatury powietrza.

1. Wrażliwość demograficzna miast na wysoką temperaturę powietrza

Prognozowany dalszy wzrost naturalnie wysokiej temperatury powietrza w obszarach silnie zurbanizowanych wzmocniony efektem miejskiej wyspy ciepła, istotnie wpłynie na jakość życia, a głównie komfort termiczny i zdrowie.

Liczne badania wskazują na obciążający wpływ wysokiej temperatury powietrza na funkcjonowanie organizmu [Kuchcik 2001, 2003, 2007, 2013; Kuchcik, Błażejczyk 2001; Kozłowska-Szczęśna *et al.* 2004; Pałczyński *et al.* 2012). Na największe ryzyko związane z wysoką temperaturą i insolacją narażeni są głównie ludzie starsi (powyżej 65 lat), małe dzieci, osoby chore na choroby układu oddechowego, sercowo-naczyniowego, osoby niepełnosprawne, głównie ruchowo i bezdomni. Podczas fal upałów występuje zwiększona liczba zachorowań i zgonów, do czego oprócz stresu termicznego przyczynia się także zwiększona koncentracja pyłków roślin alergizujących i zanieczyszczeń powietrza.

Badania Kuchcik [2013] dotyczące grupy wiekowej 65 lat i więcej wykazały wzrost ryzyka śmiertelności podczas bardzo długiej fali upałów w lipcu 1994 r. z temperaturą przekraczającą 36°C, które wynosiło: w Szczecinie 23%, Warszawie 33%, we Wrocławiu 43%, Poznaniu 49%, i aż 63% w Łodzi, natomiast w przypadku chorób sercowo-naczyniowych było zwykle większe (w Warszawie 37%, Szczecinie 38%, Poznaniu 42%, i aż 62% we Wrocławiu i 64% w Łodzi). Według Kuchcik [2013] prognoza umieralności obliczona na podstawie średniej dla Polski i najwyższych odnotowanych zgonów w Warszawie po 2040 r. przy 6 razy większej liczbie 5-dniowych upałów według modelu ARPEGE może spowodować wzrost umieralności ogólnej o ponad 225% i zgonów z powodu chorób układu krążenia o ponad 252%. Jest to jednak scenariusz skrajnie pesymistyczny, gdyż inne modele wykazały znacznie mniejsze ryzyko zgonów.

Można zatem oczekiwać wzrostu dyskomfortu życia oraz podwyższonej umieralności związanej głównie ze zwiększającą się intensywnością i częstotliwością fal gorąca i upałów w Polsce, a głównie w dużych miastach, które tracą naturalne możliwości schładzania powietrza wskutek intensyfikacji żywiłowej zabudowy i ubytkowi zieleni oraz zabudowywaniu klinów nawietrzających i schładzających strefy intensywnej zabudowy miejskiej. Dodatkowym czynnikiem ekspozycji coraz większej liczby ludności na zdrowotne skutki wysokiej temperatury powietrza jest także wzrost oczekiwanej długości życia.

Najbardziej negatywny wpływ wysokiej temperatury powietrza na komfort życia i zdrowie dotyczyć będzie mieszkańców dużych miast, a zwłaszcza osób starszych i małych dzieci i jak już wspomniano, osób z chorobami układu sercowo-naczyniowego i chorych na alergię wziewną, ze względu na koncentrację ludności oraz możliwość wystąpienia synergicznego działania czynników niekorzystnych (wysokiej temperatury, zanieczyszczeń powietrza, alergenów).

W celu określenia wrażliwości demograficznej dużych miast (powyżej 100 tys. mieszkańców) związanej z ekspozycją ich mieszkańców na wysoką temperaturę powietrza zaproponowano stosowanie następujących mierników:

- bezwzględne demograficzne ryzyko termiczne miast (BDRT) określone liczbą mieszkańców w wieku do 4 lat włącznie oraz 65 lat i więcej w danym mieście (ryc. 1);
- bezwzględne demograficzne podwyższone ryzyko termiczne (BDRT+) określone liczbą mieszkańców w wieku do 1 roku oraz 70 lat i więcej w danym mieście (ryc. 2);

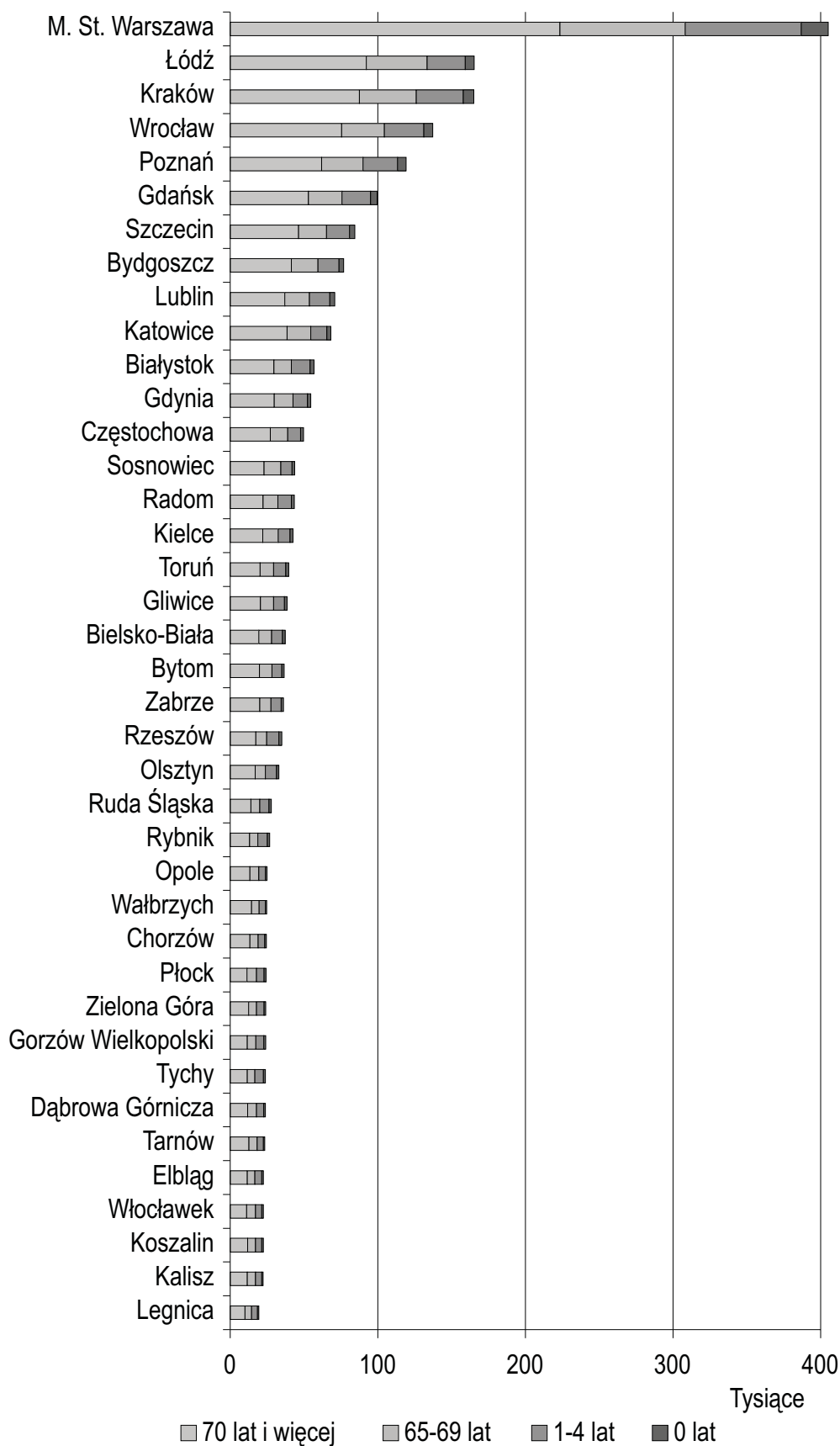
- demograficzny wskaźnik ryzyka termicznego (DWRT) określony udziałem mieszkańców w wieku do 4 lat włącznie oraz 65 lat i więcej w danym mieście (ryc. 3) w ogólnej liczbie mieszkańców tego miasta;
- demograficzny wskaźnik podwyższonego ryzyka termicznego (DWRT+) określony udziałem mieszkańców w wieku do 1 roku oraz 70 lat i więcej w danym mieście (ryc. 4) w ogólnej liczbie mieszkańców tego miasta.

Wyniki analizy dotyczące potencjalnej demograficznej wrażliwości miast na ryzyko termiczne zilustrowano na rycinach 1–4. Wskaźniki te znajdują także zastosowanie do innych jednostek podziału terytorialnego.

Pod względem liczby ludności Warszawa stanowi ośrodek największej koncentracji mieszkańców narażonych na ryzyko termiczne BDRT (405,1 tys.) i BDRT+ (241,9 tys., w tym 223,5 tys. to ludność w wieku 75 lat i więcej). W odniesieniu do ogólnej liczby ludności zagrożonej ryzykiem termicznym BDRT badanych miast aż 17,4% z tej liczby mieszka w Warszawie, co stanowi 3,7% ogólnej liczby ludności tych miast. Pod względem liczebności grup największe ryzyko dotyczyć będzie ludzi najstarszej grupy wiekowej (75 lat i więcej). Kolejne pięć miast o dużym ryzyku termicznym BDRT i BDRT+ to: Łódź, Kraków, Wrocław, Poznań i Gdańsk (ryc.1 i 2).

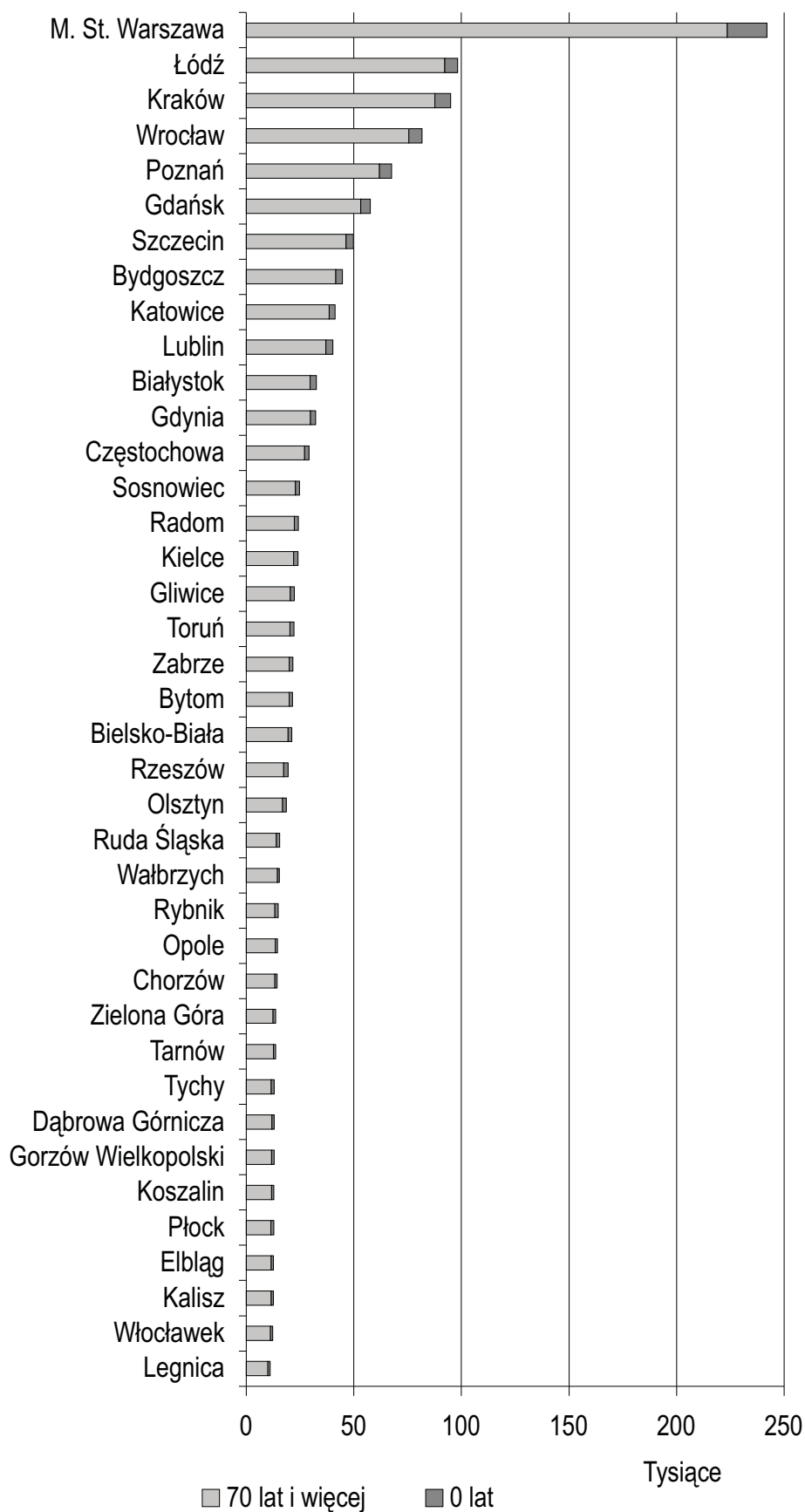
Wyniki analizy porównawczej dużych miast pod względem wskaźników DWRT i DWRT+ wykazały, że największym odsetkiem ludności danego miasta objętym ryzykiem termicznym i podwyższonym ryzykiem termicznym charakteryzuje się Warszawa, a następnie Łódź, Katowice, Chorzów i Gdynia (ryc. 4 i 5). Zróżnicowanie miast pod względem wartości tych wskaźników można ocenić jako umiarkowane, ponieważ zakres wartości DWRT waha się od 18,3% w Elblągu do 23,6% w Warszawie, a wartości DWRT+ od 10,1% w Tychach do 14,1% w Warszawie.

Spośród analizowanych charakterystyk demograficznych, ludność w wieku od 70 lat stanowiła cechę najbardziej różnicującą badane miasta pod względem ryzyka termicznego. Ta grupa wiekowa jest coraz większą populacją narażoną na negatywny wpływ klimatu nie tylko z powodu wzrostu zagrożenia wysokimi temperaturami powietrza, ale także w związku z wydłużającą się oczekiwaną długością życia. Scenariusze zmian klimatu wskazują, że zagrożenie w kolejnych dziesięcioleciach XXI w. będzie narastało, a najbardziej nasili się w schyłkowym okresie XXI w. Jest to problem, który w znacznie szerszym zakresie niż obecnie musi być brany pod uwagę przez społeczność miasta, samorząd miejski i administrację, placówki służby zdrowia, ośrodki opiekuńcze, system edukacyjny oraz inne służby i instytucje, w tym odpowiedzialne za monitorowanie i ostrzeganie ludności o występujących zagrożeniach termicznych.

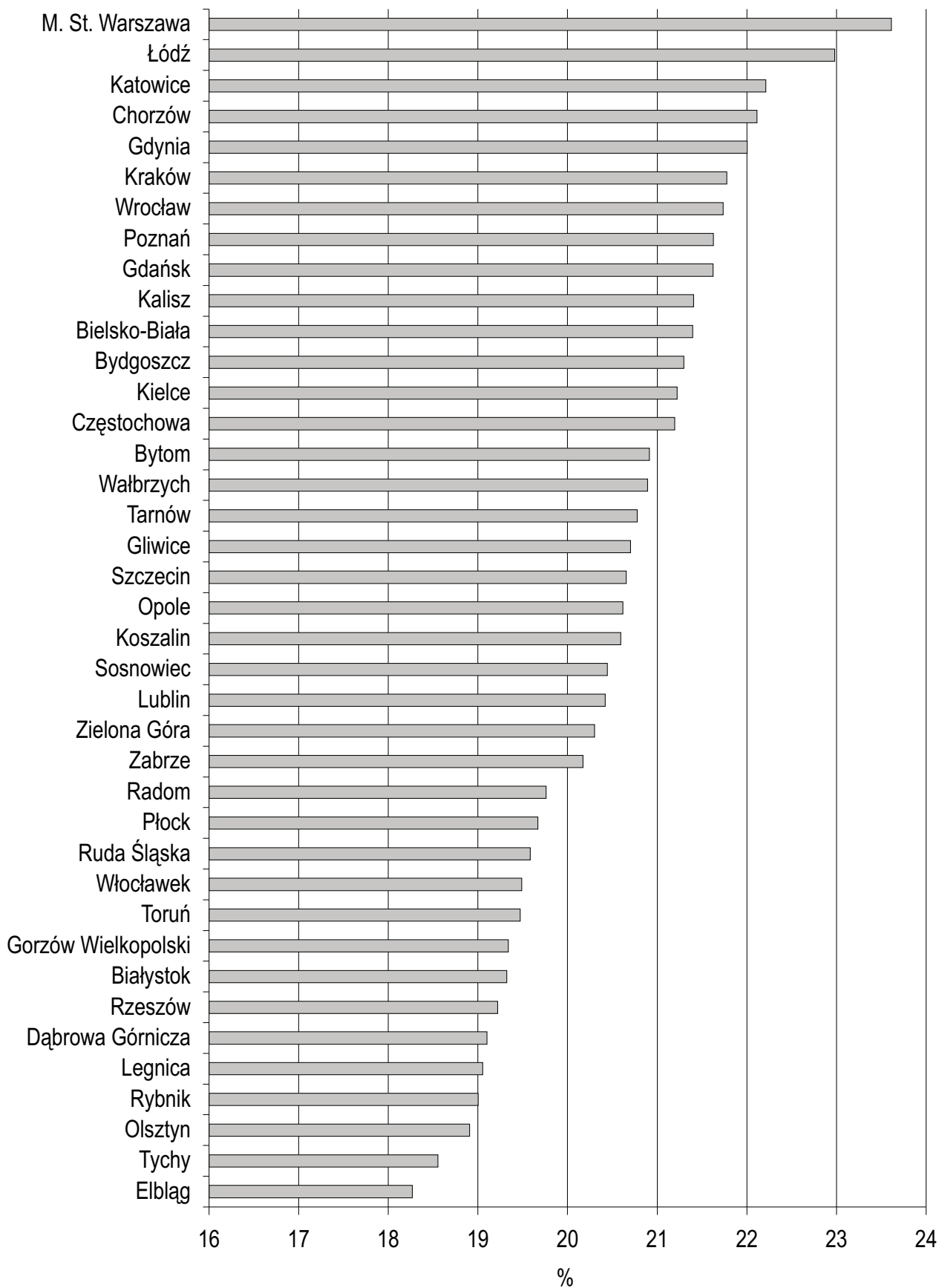


Ryc. 1. Bezwzględne demograficzne ryzyko termiczne (BDRT) w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców (według stanu z 31 grudnia 2012 r.)

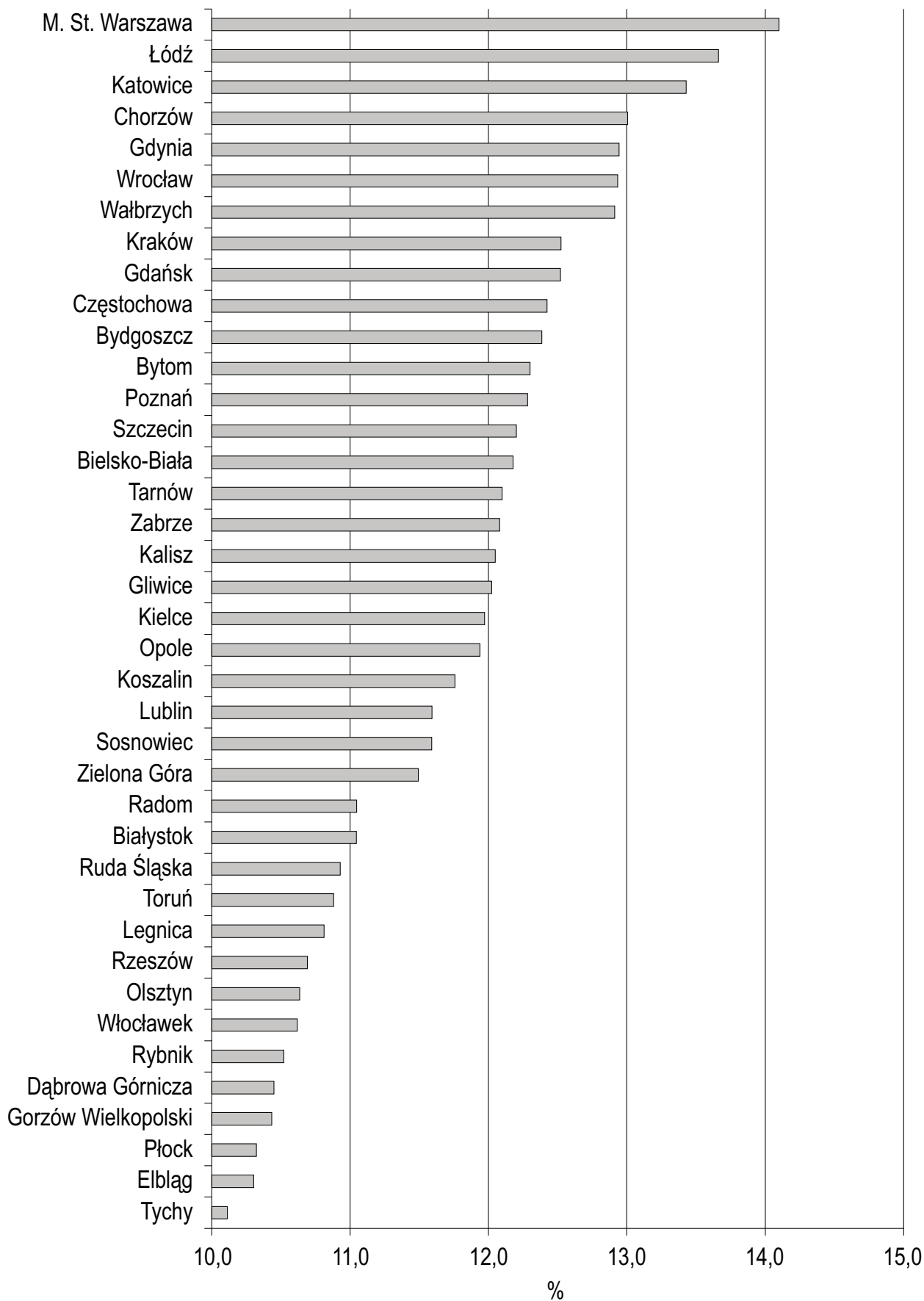
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS [Rocznik Demograficzny 2013] (ryc. 1-4).



Ryc. 2. Bezwzględne podwyższone demograficzne ryzyko termiczne (BDRT+) w miastach powyżej 100 tys. mieszkańców (według stanu z 31 grudnia 2012 r.)



Ryc. 3. Demograficzny wskaźnik ryzyka termicznego (DWRT) dla miast powyżej 100 tys. mieszkańców (według stanu z 31 grudnia 2012 r.)



Ryc. 4. Demograficzny wskaźnik podwyższonego ryzyka termicznego (DWRT+) dla miast powyżej 100 tys. mieszkańców (według stanu z 31 grudnia 2012 r.)

2. Urbanistyczne czynniki wzrostu zagrożenia termicznego

Zachodzący obecnie bardzo intensywny proces żywiłowej urbanizacji przestrzeni, zwłaszcza obszarów metropolitalnych nie sprzyja zrównoważonemu rozwojowi dużych miast i całych obszarów miejskich. Generuje natomiast ubytek licznych terenów zieleni, pełniących ważne funkcje klimatyczne, społeczne, hydrologiczne, biologiczne, jak i miastotwórcze. Dogęszczanie zabudowy powoduje ubytek zieleni miejskiej, tak ważnej w procesie schładzania miast, mimo dużego zasobu gruntów przemysłowych i niefunkcjonujących terenów składowo-magazynowych, kolejowych itp. lub nieużytków. W badaniach dla Warszawy wykazano, że na przełomie XX i XXI w. w jej intensywnie zabudowywanym rdzeniu (obszar byłej dzielnicy Warszawa-Centrum) nastąpiło znaczne zmniejszenie terenów zieleni osiedlowej, parkowej i ulicznej [Degórska 2008], a zwłaszcza ubytek zieleni wysokiej. Do niekorzystnych zmian zaliczyć można także zanik małych stawów i oczek wodnych oraz osuszanie terenów podmokłych wskutek odwodnienia terenu lub postępującej zabudowy, kanalizowanie i przykrywanie małych cieków oraz otwartych kanałów i rowów, które charakteryzując się niższą od powietrza temperaturą mogą wspomagać proces schładzania miasta, głównie w porze dziennej. Olbrzymiej presji urbanizacyjnej podlegają również tereny, które w niektórych miastach do okresu transformacji utrzymywano w stanie niezabudowanym jako system wymiany i regeneracji powietrza (np. w Warszawie). Rozrost miast powoduje także ubytek terenów otwartych w strefach zasilania korytarzy nawietrzających i ograniczanie możliwości obszarowego napływu schłodzonego powietrza nad strefę śródmiejską.

Trzy główne czynniki, tj. rodzaj powierzchni (pokrycia terenu), intensywność zabudowy oraz wzmożona emisja ciepła antropogenicznego decydują o tym, że temperatura powietrza w mieście jest wyższa niż na terenie pozamiejskim, co określane jest jako miejska wyspa ciepła (MWC). Miasto jako twór antropogeniczny jest zbudowane głównie z betonu, kamienia, cegły i asfaltu, czyli materiałów kumulujących ciepło o niskich współczynnikach albedo w odróżnieniu od terenów zieleni lepiej odbijających promieniowanie. Tworzeniu się MWC najbardziej sprzyja zabudowa śródmiejska, wysoka i gęsta zabudowa osiedlowa oraz duże obiekty przemysłowe i elektroenergetyczne, a także względnie mały udział terenów biologicznie czynnych, a głównie zieleni wysokiej, w strefach o wysokich wskaźnikach intensywności zabudowy.

Negatywne oddziaływanie MWC na jakość życia związane jest głównie z okresami wysokiej temperatury powietrza. Globalne ocieplenie z jednoczesnym

wzrostem wskaźników intensywności zabudowy, zmniejszaniem terenów biologicznie czynnych na rzecz sztucznych, uszczelnionych powierzchni, zwiększa zagrożenie związane z występowaniem naturalnie wysokich temperatur, dodatkowo podnosząc je. Błażejczyk badając rozkład MWC w Warszawie [2002] i w Krakowie [2013] wykazał m.in., że MWC nie stanowi jednorodnej powierzchni lecz z największym nasileniem występuje ponad obszarami o warunkach sprzyjających jej tworzeniu, jak: strefy bardzo intensywnej zabudowy, rejony dużych zakładów przemysłowych czy elektrociepłowni. Na podstawie wyników przytoczonych prac można stwierdzić, że niska zabudowa na relatywnie dużych działkach wpływa tylko w nieznacznym zakresie na rozwój MWC, podczas gdy zwiększanie intensywności zabudowy, zwłaszcza wielokondygnacyjnej w połączeniu z ubytkiem terenów zieleni, powoduje wzrost intensywności MWC.

Badania prowadzone w wielu miastach świata wykazały, że na terenie miejskim notowane temperatury są wyższe w porównaniu z terenami pozamiejskimi najczęściej średnio od 0,5 do 0,8°C, a w zimie nawet od 1,1 do 1,6°C [EEA 2012]. Fortuniak [2003] wskazuje na dużą intensywność miejskiej wyspy ciepła w Łodzi, gdzie nawet latem wartość modalna rozkładu maksymalnych kontrastów termicznych leży w przedziale 2–3°C, a różnice temperatur z tego przedziału cechują ponad 30% letnich nocy. W ekstremalnych warunkach termicznych, gdy temperatura osiąga wartości ponad 35°C w miastach do 600 tys. mieszkańców intensywność MWC może sięgać 7,6°C, zaś w miastach ok. 1–2 mln mieszkańców różnica temperatury powietrza między MWC a terenami otwartymi może osiągać nawet 9–10°C [EEA 2012]. Intensywność zabudowy i stan uszczelnienia gruntu sztucznymi powierzchniami w poddanych badaniom miastach jest jednak znacznie wyższa niż w największych miastach Polski, jakkolwiek nie można wykluczyć podobnego scenariusza rozwoju miast. W układzie dobowym i przestrzennym rozkładu MWC, pory nocne (do połowy nocy) przypadające na okres fal gorąca i upałów, charakteryzuje znaczna różnica temperatury między strefą zwartej zabudowy śródmiejskiej a terenami otwartymi poza miastem. Analizując scenariusze zmian klimatu dla Europy [Fischer, Schar 2010], w powiązaniu z dalszą intensyfikacją zabudowy, można prognozować, że w Polsce problem ten będzie narastał.

Dodatkowym czynnikiem jest emisja ciepła antropogenicznego. W okresach wysokiej temperatury powietrza nasila się emisja ciepła związana z pracą systemów wentylacyjnych i chłodniczych, spada natomiast z systemów grzewczych i z pomieszczeń, co jest także ważne w zarządzaniu procesem produkcji energii elektrycznej.

Biorąc pod uwagę synergiczne działanie na zdrowie wysokiej temperatury i zanieczyszczeń powietrza, spośród największych polskich miast do najbardziej wrażliwych należą Warszawa, Kraków i Łódź, które charakteryzuje silne zanieczyszczenie powietrza z dużą liczbą dni z przekroczonym ozonem [Rocznik Statystyczny 2012]. Pałczyński *et al.* [2012] wskazują, że ekspozycja na ozon zaostrza przebieg astmy, a jego synteza jest zwiększona w wyższej temperaturze. Oczekiwać można zatem wzrostu stężenia ozonu troposferycznego w okresach naturalnie wysokiej temperatury powietrza, podwyższonej w dużych miastach efektem miejskiej wyspy ciepła.

Synergiczne niekorzystne działanie na zdrowie wykazuje także wyższa od tła temperatura powietrza w miastach, zanieczyszczenie powietrza oraz okres ekspozycji mieszkańców na działanie czynników alergizujących. Pałczyński *et al.* [2012] wskazują na niekorzystne dla zdrowia wydłużenie okresu działania czynników alergizujących pochodzenia roślinnego związane z wcześniejszym pyleniem roślin, wskutek wyższej temperatury powietrza oraz wydłużeniem okresu pylenia roślin późnopylających. Wymienieni autorzy wskazują, że cząsteczki pyłu, zwłaszcza drobnego stanowią nośnik dla wielu alergenów, zwiększając biodostępność i poziom narażenia w przypadku ekspozycji inhalacyjnej, a chemiczne zanieczyszczenia powietrza mogą powodować wzrost potencjału alergenowego pyłków roślin przez wzmożenie syntezy tzw. białek zależnych oraz patogenezę [*ibidem*].

Oczekiwać można, że w bardziej zanieczyszczonych miastach zagrożenie zdrowia publicznego spowodowane wzrastającą temperaturą powietrza oraz coraz większą intensywnością i częstotliwością fal gorąca i upałów będzie dodatkowo podwyższone.

3. Adaptacja dużych miast do wysokiej temperatury powietrza

W procesie adaptacji miast do prognozowanego wzrostu temperatury powietrza, w zakresie temperatury wysokiej, szczególną uwagę należy zwrócić na możliwość schładzania miast, za którą odpowiedzialny jest poprawnie zaprojektowany system wentylacji miasta, zintegrowany z systemem terenów zielonych (siecią ekologiczną miasta i obszaru metropolitalnego), a także optymalne pod względem udziału i struktury przestrzennej nasycenie miast zielenią, zwłaszcza wysoką, stanowiącą jednocześnie zaplecze rekreacyjne dla mieszkańców. Niezbędne jest zatem wprowadzenie do planowania dużych miast obligatoryjności wyznaczania, a następnie racjonalnego kształtowania

systemu wentylacji miasta w celu ochrony korytarzy napływu, chłodniejszego, czystego i zregenerowanego powietrza do strefy zwartej zabudowy miejskiej oraz odpływu z tej strefy powietrza zanieczyszczonego i ogrzanego.

Wnikanie schłodzonego, czystego i zregenerowanego powietrza do strefy intensywnej zabudowy miejskiej umożliwić powinny korytarze napływu powietrza pozbawione barier urbanistycznych hamujących swobodny przepływ powietrza, a w obszarach o urozmaiconej rzeźbie terenu również rynny spływu powietrza. W systemie wentylacji miasta szczególna rola przypada korytarzom przepływu powietrza, zwłaszcza przez strefę śródmiejską i osiedli mieszkaniowych, które nie tylko wprowadzają zregenerowane i schłodzone powietrze do tej strefy, ale także umożliwiają odpływ zanieczyszczonego i ogrzanego powietrza z tej strefy. Ukształtowanie systemu wymiany i regeneracji powietrza w dużym mieście przez odpowiednie zaplanowanie jego struktury funkcjonalno-przestrzennej, stanowi podstawę do poprawy warunków termicznych i jakości powietrza na drodze planistycznej, niemniej jednak wymaga obligatoryjności potwierdzonej umocowaniem prawnym.

Sprawność funkcjonowania systemu wentylacji miasta będzie warunkowana właściwym zaprojektowaniem i użytkowaniem terenów w obrębie wyznaczonego systemu wentylacji miasta oraz terenów wspomagających ten system. Optymalną cechą takiego systemu byłoby zachowanie całego układu jako terenów zieleni, objętego zakazem zabudowy, co w obecnym systemie planowania przestrzennego i presji deweloperów wydaje się bardzo mało realne. Innym alternatywnym rozwiązaniem może być pogodzenie rozwoju funkcji mieszkaniowej z zabezpieczeniem funkcji klimatycznej układu wentylacji miasta przez jednoznaczne ustalenia wiążące w zakresie zabudowy. W przypadku braku możliwości wprowadzenia zakazu zabudowy w takich strukturach dopuścić można wyłącznie parterowe, lub maksymalnie 1,5-kondygnacyjne budownictwo jednorodzinne, ale z obligatoryjnymi ustaleniami wiążącymi w zakresie powierzchni biologicznie czynnej (minimum 70%), usytuowania budynków (orientowanie ich dłuższymi osiami równoległe do osi korytarzy nawietrzających), konieczność wyposażenia w siećową infrastrukturę grzewczą. Wskazane byłoby także pozostawienie niezabudowanych pasm w części osiowej korytarzy nawietrzających. W odniesieniu do obecnie istniejącej zabudowy w obrębie systemu wentylacji miasta należy przeciwdziałać ubytkowi powierzchni biologicznie czynnej w ciągach nawietrzających i ich otoczeniu na rzecz zwiększania w nich udziału terenów zieleni miejskiej. W sytuacji występowania przegród architektonicznych rekomenduje się w miarę możliwości usuwanie obiektów utrudniających przepływ powietrza. Konieczne jest także

sukcesywne eliminowanie istniejących źródeł emisji zanieczyszczeń w obrębie korytarzy napływu i miejsc regeneracji powietrza oraz w ich sąsiedztwie, a także wprowadzenie zakazu lokalizowania nowych źródeł, w tym lokalnych kotłowni na rzecz wspomnianych już rozwiązań systemowych. Oprócz samego układu wentylacji bardzo istotne jest także zagospodarowanie otoczenia dużego miasta, a głównie obszarów zasilania głównych korytarzy nawietrzających. W takich obszarach zwłaszcza na kierunkach przeważających wiatrów, szczególnie pożądaną będą duże kompleksy leśne lub łąkowe, a w przypadku występowania terenów zabudowanych, wyposażenie takich obszarów w sieciową infrastrukturę grzewczą oraz eliminowanie istniejących i niedopuszczanie do powstawania nowych źródeł emisji.

Obszarowy napływ czystego i schłodzonego powietrza powinien zapewniać zielony pierścień, pod warunkiem, że będą to tereny otwarte i charakteryzujące się dużą lesistością i zachowaniem kompleksów łąkowych, zwłaszcza na głównych kierunkach napływu mas powietrza nad miasto. Szczególnego potraktowania wymagają fragmenty pierścienia stanowiące obszary zasilania korytarzy nawietrzających. Wprowadzenie obligatoryjności wyznaczania zielonych pierścieni wokół dużych miast oraz systemu wentylacji miasta wraz z jednoznacznymi ustaleniami wiążącymi w zakresie ich zagospodarowania może stanowić ważny kierunek polityki przestrzennej w procesie adaptacji do zmian klimatu. Przykład takiego podejścia zawarto m.in. w opracowaniu wykonanym dla Krakowa [Błażejczyk, Degórska 2013], w którym dodatkowo zintegrowano najważniejsze struktury układu wentylacji miasta z projektem sieci ekologicznej [Degórska 2013]. Kompleksowe podejście do funkcjonowania środowiska pozwala na zintegrowanie systemu wymiany i regeneracji powietrza z układem terenów zieleni miejskiej, leśnej i łąkowej, ze szczególnym uwzględnieniem niezabudowanych pasm dolin rzecznych, które budują sieć ekologiczną dużego miasta i obszaru metropolitalnego.

Działania adaptacyjne mające na celu schładzanie miasta i poprawę jakości powietrza, oprócz optymalnego zaprojektowania i użytkowania samego układu wentylacji miasta, powinny zostać ukierunkowane również na zwiększanie udziału tzw. zielonej infrastruktury także poza wymienionym układem, a głównie: 1) wprowadzanie zieleni w obszar zabudowany, w postaci parków, zieleńców, zieleni osiedlowej, zieleni przydrożnej, zieleni w obrębie zamkniętych wnętrz urbanistycznych; 2) obowiązkowe planowanie i utrzymywanie terenów biologicznie czynnych w obszarach o funkcjach mieszkaniowych, usługowych i produkcyjnych, większych powierzchniowo od obecnie wymaganego wskaźnika; 3) włączenie do planowania urbanistycznego zaleceń

dotyczących zielonych dachów i ścian; 4) zwiększanie zacienienia przestrzeni publicznych (chodniki, place, skwery z wykorzystaniem m.in. odpowiednich gatunków drzew i krzewów; 5) ukierunkowanie projektów architektonicznych i technicznych na łagodzenie skutków wysokiej temperatury powietrza.

Lepsze i bardziej równomierne wyposażenie miast w zieloną infrastrukturę pozwoli na lokalny ruch powietrza w sąsiedztwie zabudowy – tj. wnikanie schłodzonego powietrza do osiedli, a wprowadzanie zieleni wysokiej w przestrzenie publiczne o sztucznej nawierzchni, umożliwi zacienienie tych miejsc, co częściowo je schłodzi, ale stanowić będzie ochronę użytkowników przed intensywną insolacją.

W okresach bardzo wysokiej temperatury powietrza szczególnego znaczenia nabierają wody powierzchniowe, schładzające w dzień ich najbliższe otoczenie. Ważne jest zatem niedopuszczanie do likwidacji istniejących naturalnych i sztucznych zbiorników wodnych, cieków i kanałów, a także podejmowanie działań mających na celu większe nasycenie miasta w tzw. niebieską infrastrukturę, w tym m.in. akwenty wodne i ciek i kanały oraz obiekty małej architektury wzbogacającej miasto w obiekty wodne w obrębie zabudowy i przestrzeni publicznych.

Mając na uwadze synergiczne oddziaływanie wysokich temperatur powietrza na zdrowie oraz jego zanieczyszczenia i poziom alergenów roślinnych w powietrzu ważnym kierunkiem jest także poprawa jakości powietrza, a głównie zmniejszenie zanieczyszczenia zarówno ze źródeł przemysłowych, jak i komunikacyjnych i komunalnych, zwłaszcza pyłu i prekursorów ozonu, a także zastępowanie gatunków roślin o wysokim potencjale alergenowym, gatunkami bardziej przyjaznymi dla zdrowia ludzi. Zaprojektowanie skutecznego systemu wentylacji i regeneracji powietrza dużego miasta będzie bardziej efektywne przy znacznym wsparciu ze strony układu zieleni, a w scenariuszu zrównoważonego i optymalnego rozwoju przestrzennego, ze strony sieci ekologicznej dużego miasta i obszaru metropolitalnego, łącznie z zielonym pierścieniem oraz utrzymaniu spójności i trwałości tak ważnych struktur ekologicznych.

Podsumowanie

W obliczu zachodzących współcześnie i prognozowanych zmian klimatu adaptacja przestrzeni miejskiej do nowych uwarunkowań będzie stanowić bardzo istotny obszar działań wpływający na zrównoważony rozwój miast.

Skuteczna adaptacja do wzrostu maksymalnych temperatur powietrza wymaga przede wszystkim ukierunkowania działań na poprawę warunków

w zakresie przewietrzania i schładzania miasta. Na jakość życia wpłynie przede wszystkim dalsze zwiększanie temperatury powietrza w okresie letnim, jak i częstość intensywności fal upałów i gorąca, prowadzące do obniżenia komfortu termicznego i zagrożenie zdrowia. Spośród dużych miast (>100 tys. mieszkańców) Warszawa należy do miast o najwyższym bezwzględnym demograficznym ryzyku termicznym (BDRT i BDRT+) ze względu na najwyższą wartość demograficznego wskaźnika ryzyka termicznego (DWRT) i demograficznego podwyższonego wskaźnika ryzyka termicznego (DWRT+).

Nasilać się mogą także liczne zagrożenia skumulowane, wynikające z synergicznego oddziaływania wysokiej temperatury w powiązaniu z takimi czynnikami, jak: zanieczyszczenie powietrza, okres pylenia roślin i potencjał alergenowy, występowanie okresów bezopadowych i związanych z nimi susz, a zwłaszcza bardzo niebezpiecznej dla zieleni miejskiej suszy glebowej. W okresie letnim zaopatrzenie w energię elektryczną, zwłaszcza dużych miast, uwzględniać musi zwiększony pobór energii przez urządzenia klimatyzacyjne i chłodnicze.

W odniesieniu do kluczowej roli terenów zieleni i wód ważne są jednak nie tylko odpowiednie wskaźniki dotyczące terenów biologicznie czynnych, ale także optymalizacja struktury funkcjonalno-przestrzennej terenów zieleni. Optymalnym rozwiązaniem byłoby zintegrowanie systemu wentylacji miast z siecią ekologiczną obszaru metropolitalnego i samego miasta. W przypadku kiedy sieć ekologiczna nie stanowi przedmiotu planowania przestrzennego, wówczas system wentylacji miasta powinien być spójny z układem terenów otwartych i zieleni. W projektowaniu terenów zieleni ważny jest także odpowiedni dobór gatunków uwzględniający potencjał alergenowy pyłków roślin. Nie mniej istotne jest obniżanie stężenia zanieczyszczeń powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem gazów cieplarnianych, ozonu troposferycznego i zanieczyszczeń pyłowych.

W kształtowaniu odpowiednich warunków jakości życia w dużym mieście w okresie wysokiej temperatury powietrza, w połączeniu z efektem miejskiej wyspy ciepła, ważnym celem polityki przestrzennej powinno być kształtowanie optymalnego systemu wentylacji miasta, umożliwiającego po pierwsze, naturalne schładzanie powietrza, po drugie zmniejszanie zanieczyszczenia powietrza. Wskazać można m.in. na rolę zieleni miejskiej, lasów, wód i niezabudowanych dolin rzecznych i innych terenów biologicznie czynnych. Tak zwane tereny zielone, włączając w tę kategorię wody powierzchniowe są określane coraz częściej jako zielona infrastruktura lub rozdzielnie jako zielona i niebieska infrastruktura. Takie podejście do terenów zieleni może przyczynić

się do zmiany postrzegania znaczenia i wartości takich obszarów, które należy wyceniać nie tylko jako wartość gruntu drzew lub krzewów, ale uwzględniając tzw. usługi ekosystemów.

Wobec dość powszechnego braku miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego o charakterze ochronnym, zdecydowana większość deweloperów i właściciele gruntów niezabudowanych traktuje je jako potencjalny teren inwestycyjny. W obliczu prognozowanego wzrostu temperatury powietrza w zakresie temperatur wysokich ochrona części terenów przyrodniczych o dużym znaczeniu ekologicznym jest szczególnie istotna nie tylko ze względu na pełnione funkcje biologiczne, ale głównie ze względu na ich funkcje klimatyczne (system wentylacji miasta, uwzględniający schładzanie i regenerację powietrza), społeczne (tereny rekreacyjne wśród zieleni – ostoja cienia i naturalnego chłodu), hydrotermiczne (woda schładzająca otoczenie w dni gorące i upalne), strukturotwórcze (odpowiednie zaplanowanie struktury przestrzennej miasta – zintegrowanie układu zieleni – sieci ekologicznej z systemem wentylacji miasta) oraz krajobrazotwórcze (odpowiedni dobór niealergizujących gatunków roślin) stanowi wyzwanie dla gospodarki przestrzennej, ze wskazaniem doniosłej roli planowania przestrzennego. Niezbędne jest zatem objęcie miejscowymi planami zagospodarowania przestrzennego o charakterze ochronnym terenów pełniących ważne funkcje społeczno-środowiskowe, w tym także klimatyczne, uwzględniając problem schładzania dużych miast oraz zmniejszania zanieczyszczenia powietrza i minimalizowania czynników alergizujących.

Rola gospodarki przestrzennej, ze szczególnym uwzględnieniem planowania przestrzennego i planowania krajobrazu w procesie adaptacji przestrzeni miejskiej do zmian klimatu, także w kontekście wzrostu temperatury powietrza jest bardzo ważna.

Literatura

- Błażejczyk K., 2002, *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dokumentacja Geograficzna, 26.
- Błażejczyk K., 2013, *System wymiany i regeneracji powietrza jako czynnik poprawy warunków aerosanitarnych i bioklimatycznych w mieście*, [w:] *Środowisko przyrodnicze Krakowa. Zasoby – ochrona – kształtowanie*, B. Degórska, M. Baścik (red.). IGiGP UJ, UMK WGiK PW, Kraków s. 179–181.
- Błażejczyk K., Degórska B., 2013, *Możliwości poprawy jakości powietrza*, [w:] *Środowisko przyrodnicze Krakowa...*, *op.cit.*, s. 182–183.

- Degórska B., 2008, *Prawidłowości zróżnicowania przestrzennego i zmian struktury poziomej krajobrazu obszaru metropolitalnego Warszawy na przełomie XX i XXI wieku*, [w:] *Atlas Warszawy. Z.10. Zmiany krajobrazu obszaru metropolitalnego Warszawy na przełomie XX i XXI wieku*, B. Degórska, A. Deręgowska. IGiPZ PAN, Warszawa.
- Degórska B., 2013, *Koncepcja kształtowania struktury przestrzennej sieci ekologicznej Krakowa*, [w:] *Środowisko przyrodnicze Krakowa, op.cit.*, s. 251–263.
- EEA, 2012. *Urban Adaptation to Climate Change in Europe*, Report. Final draft for EIONET consultation.
- Fischer E. M., Schar C., 2010, *Consistent Geographical Patterns of Changes in High-impact European Heatwaves*. *Nature Geoscience*, 3, 6, s. 398–403.
- Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wyd. UŁ.
- Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Kuchcik M., 2004, *Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka*. Monografie IGiPZ PAN, 4, s. 194.
- Kuchcik M., 2001, *Mortality in Warsaw: Is There any Connection with Weather and Air Pollution?*, *Geographia Polonica*, 74, 1, s. 29–45.
- Kuchcik M., 2003, *The Influence of Aerosanitary and Biometeorological Conditions on the Health and Mortality of the Inhabitants of Warsaw*, [w:] *Studies on the Climate of Warsaw*, M. Stopa-Boryczka (red.). Warsaw University, Faculty of Geography and Regional Studies, s. 155–166.
- Kuchcik M., 2006, *Pogoda w Polsce a umieralność: współcześnie oraz w świetle prognoz zmian klimatu*. *Balneol. Pol.*, 48 nr 4, s. 239–244.
- Kuchcik M., 2007, *Skrajne warunki termiczne w Polsce – zagrożenia dla człowieka*. *Balneol. Pol.* 49, 3, s. 211–212.
- Kuchcik M., 2013, *The Attempt to Validate the Applicability of Two Climate Models for the Evaluation of Heat Wave Related Mortality in Warsaw in the 21st Century*. *Geographia Polonica*, 86, 4, s. 295–311.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., 2001, *Wpływ warunków pogodowych na zachorowalność i umieralność mieszkańców Warszawy*, [w:] *Badania środowiska fizycznogeograficznego aglomeracji warszawskiej*. *Prace Geograficzne*, 180, s. 71–81.
- Pałczyński C., Dudek W., Kręcisz B. 2012, *Zmiany klimatu, miejska wyspa ciepła i choroby alergiczne*. *Alergia*, 4/2012, s. 26–28.
- Rocznik Demograficzny 2013*, GUS, Warszawa.
- Rocznik Statystyczny 2012*, GUS, Warszawa.

Sadowski M. (kier. projektu), 2013, *Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu, Etap III, Adaptacja wrażliwych sektorów i obszarów Polski do zmian klimatu do roku 2070*, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.