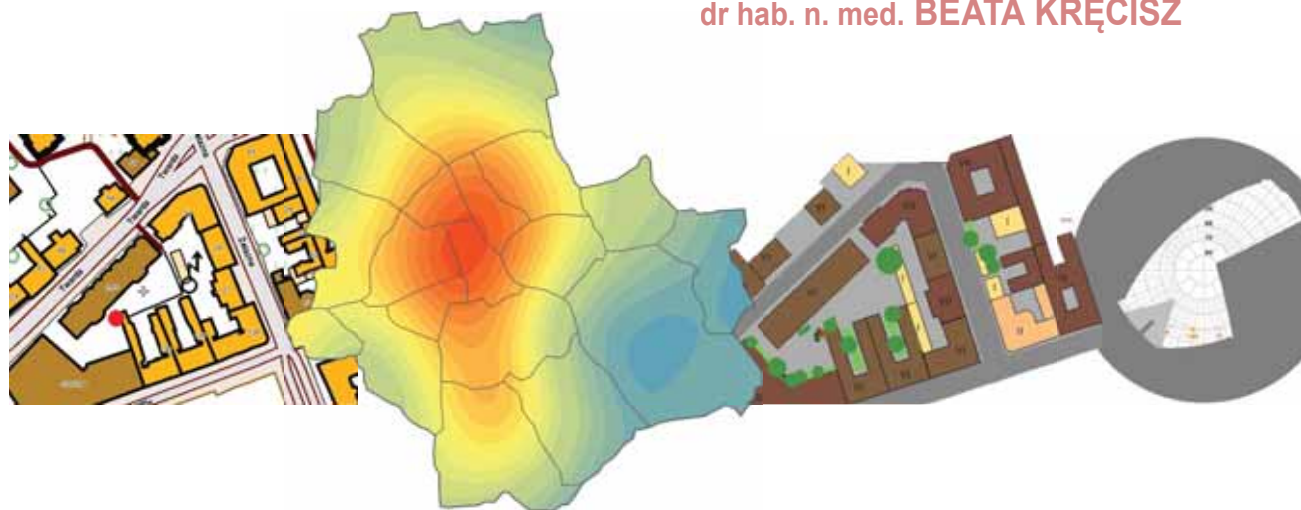


Instytut Geografii
i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
Warszawa, 2014



prof. dr hab. KRZYSZTOF BŁAŻEJCZYK
dr MAGDALENA KUCHCIK
mgr PAWEŁ MILEWSKI
mgr JAKUB SZMYD
dr n. med. WOJCIECH DUDEK
mgr inż. ANNA BŁAŻEJCZYK
dr hab. n. med. BEATA KRĘCISZ



MIEJSKA WYSPA CIEPŁA W WARSZAWIE

INFORMATOR

Publikacja współfinansowana
przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego (ERDF)
za pośrednictwem projektu 3CE292P3
*„Wypracowanie i zastosowanie strategii adaptacyjnych i ograniczających
oraz sposobów przeciwdziałania zjawisku miejskiej wyspy ciepła”*
w ramach programu Europa Środkowa.

The studies were supported by Central Europe Programme of EU, co-financed
by the ERDF, in the frame of UHI project No 3CE292P3
*Development and application of mitigation and adaptation strategies and measures
for counteracting the global Urban Heat Islands phenomenon (UHI).*

Copyright:

© Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
00-818 Warszawa, Twarda 51/55



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL
DEVELOPMENT FUND



Autorami rycin i zdjęć, jeśli nie zaznaczono inaczej, są autorzy informatora.

Opracowanie i przygotowanie do druku:
Bioklimatologia. Pracownia Bioklimatologii i Ergonomii Środowiskowej.
04-133 Warszawa, Łukowska 17/55

Druk:

Mikrograf s.c.

03-984 Warszawa, Szkoły Orłąt 4/12

Miejska Wyspa Ciepła (MWC)

jest zjawiskiem mikroklimatycznym powszechnie występującym w obszarach miejskich (obserwowano ją nawet w miastach o liczbie ludności nie przekraczającej 3,5 tys. mieszkańców).

Zjawisko Miejskiej Wyspy Ciepła polega na znacznym podwyższeniu temperatury w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych, co można porównać do wyspy ciepła (lub niekiedy archipelagu wysp) otoczonej „oceanem” względnego chłodu.

Powstanie Miejskiej Wyspy Ciepła jest wynikiem:

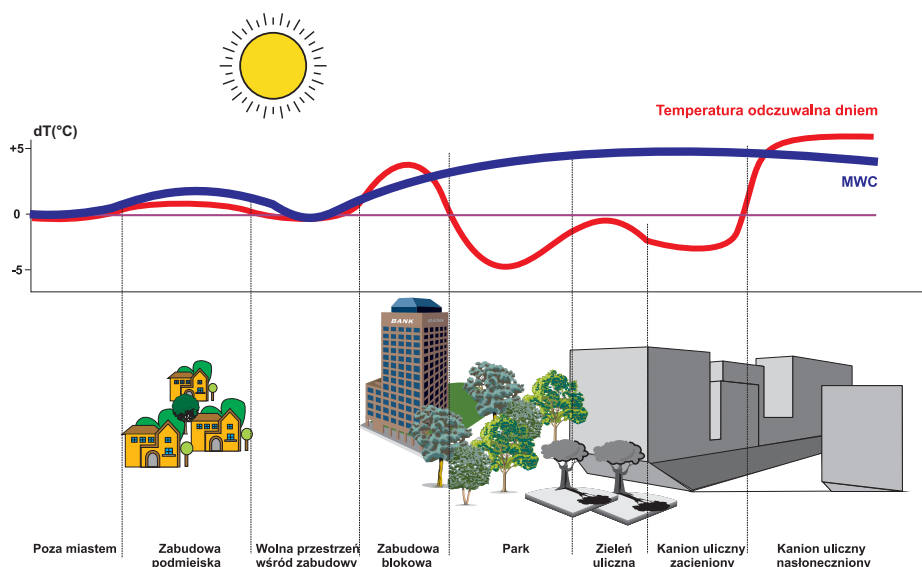
- ❑ **zmniejszonego albedo różnorodnych sztucznych powierzchni w mieście** (asfalt, beton, dachy pokryte papą, ciemne ściany budynków) **oraz samej geometrii miasta** (wielokrotne odbicia promieni słonecznych w kanionach ulicznych) – prowadzących do zwiększonego pochłaniania promieniowania słonecznego i silnego nagrzewania się podłoża;
- ❑ **zmienionej struktury promieniowania długofalowego** (ciepłego) na obszarach zabudowanych – obserwuje się zwiększony dopływ promieniowania emitowanego przez nagrzane powierzchnie ścian;
- ❑ **małego udziału naturalnych powierzchni roślinnych**, które sprzyjają stabilizacji bilansu cieplnego – im większa część miasta pokryta jest przez nieprzepuszczalne powierzchnie tym bardziej zmniejsza się parowanie z gleby i szaty roślinnej, a tym samym zwiększa się temperatura. Nasłonecznione fragmenty ulic mogą być cieplejsze od ich części zacienionej nawet o kilkanaście stopni Celsjusza;
- ❑ **aktywności człowieka**, na którą składa się ciepło produkowane przez urządzenia grzewcze i klimatyzacyjne, przemysł, ruch samochodowy;
- ❑ **efektu cieplarnianego towarzyszącego miastu**: zwiększone zanieczyszczenie powietrza nad miastem oraz zwiększona zawartość gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery prowadzi do zwiększenia ilości ciepła emitowanego przez warstwę powietrza nad miastem do jego wnętrza.



Wymienione wyżej czynniki i procesy powodują, że obręb miasta gromadzą się w ciągu dnia znaczne ilości ciepła, które w godzinach nocnych jest stopniowo uwalniane do atmosfery powodując, że słabiej się ona wychładza niż tereny otaczające.

O ile MWC zaznacza się mniej lub bardziej intensywnie na całym obszarze miasta, o tyle w godzinach dziennych przestrzenny rozkład warunków termicznych odczuwanych przez mieszkańców jest bardzo zróżnicowany.

Przedstawione specyficzne cechy termiczne miasta, zarówno w godzinach nocnych jak i w ciągu dnia można przedstawić w postaci poniższego schematu graficznego.



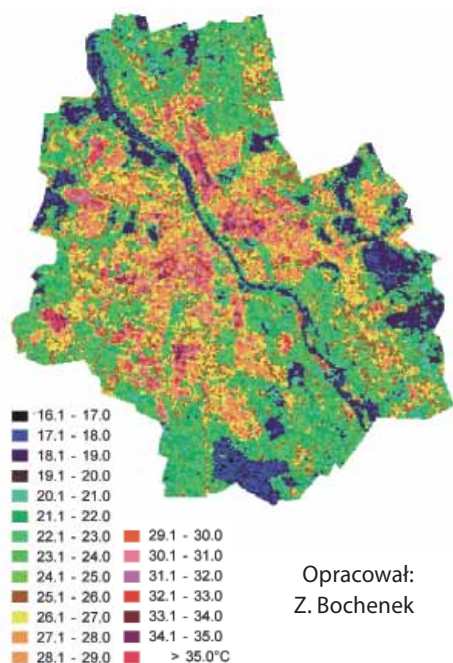
Metody badania Miejskiej Wyspy Ciepła

Istnieje wiele sposobów określenia różnic termicznych pomiędzy miastem a otoczeniem. W tym celu wykorzystywane są dane zarówno ze standardowych stacji meteorologicznych, jak również dane ze specjalnych sieci obserwacyjnych, pomiarów mobilnych czy też termicznych obrazów lotniczych lub satelitarnych. Niewątpliwą zaletą lotniczych i satelitarnych obrazów termalnych jest duża rozdzielczość przestrzenna oraz jednoczesne zobrazowanie termiczne dla rozległych

Stosowane obecnie metody badania MWC pozwalają na określenie zróżnicowania temperatury powietrza (pomiaru naziemne) lub temperatury powierzchni (termalne obrazy lotnicze lub satelitarne).

obszarów. Należy jednak pamiętać, że obrazy te dostarczają danych o temperaturze różnych powierzchni horyzontalnych (grunt, dachy budynków, korony drzew). Pomiary naziemne informują nas natomiast o temperaturze powietrza na wysokości około 2 m nad gruntem. Temperatura ta jest kształtowana przez całe pole termiczne w otoczeniu punktu pomiarowego (podłoże, obiekty otoczenia).

Satelitarny obraz termalny



Opracował:
Z. Bochenek

Naziemny pomiar mikroklimatyczny



Zdjęcie: K. Lindner-Cendrowska

Cechy Miejskiej Wyspy Ciepła zdefiniować można na podstawie danych o temperaturze powierzchni i temperaturze powietrza

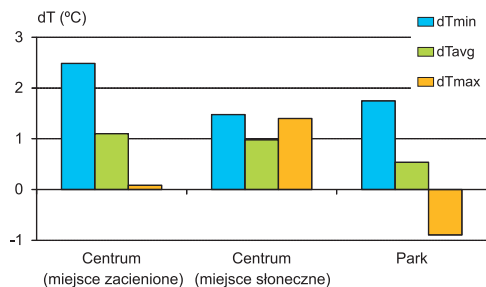
Cecha	Powierzchniowa MWC	Atmosferyczna MWC
Czas występowania	<ul style="list-style-type: none"> - występuje w dzień i w nocy - najbardziej intensywna w ciągu dnia 	<ul style="list-style-type: none"> - w dzień może być niewielka lub nie występować wcale - najbardziej intensywna w nocy i o świcie
Intensywność	<ul style="list-style-type: none"> - w dzień: 10-15°C - w nocy: 5-10°C 	<ul style="list-style-type: none"> - w dzień: 1-3°C - w nocy: 5-12°C
Metoda identyfikacji	<ul style="list-style-type: none"> pomiary pośrednie: - teledetekcja 	<ul style="list-style-type: none"> pomiary bezpośrednie: - stacje meteorologiczne - pomiary mobilne
Sposób przedstawiania	<ul style="list-style-type: none"> - zdjęcia termalne 	<ul style="list-style-type: none"> - mapy izoterm

Charakterystyka Miejskiej Wyspy Ciepła

Podstawową miarą Miejskiej Wyspy Ciepła jest różnica minimalnej, czyli najniższej notowanej w ciągu doby temperatury powietrza, pomiędzy miastem i terenem pozamiejskim, która występuje, w godzinach późnonocnych i wczesnoporannych.

Intensywność MWC mierzy się głównie różnicą temperatury minimalnej między miastem a jego otoczeniem. Czasem wykorzystuje się różnice średniej dobowej, a nawet maksymalnej temperatury powietrza. Różnice średniej dobowej temperatury dają jedynie bardzo uogólnione informacje o MWC, jednak podkreślają jej stabilność niezależnie od warunków pogodowych. Różnice temperatury maksymalnej natomiast mówią o możliwym, całodobowym występowaniu MWC. Ma to także duże znaczenie z punktu widzenia warunków termicznych odczuwanych w ciągu dnia przez ludzi mieszkających i poruszających się po mieście.

Na potrzeby niniejszego informatora natężenie MWC oznaczono symbolem **UHI-Index** i zdefiniowano jako różnicę dobowej temperatury minimalnej w danym punkcie pomiarowym i dobowej temperatury minimalnej na stacji lotniskowej Warszawa-Okęcie.



Średnie roczne wartości różnych miar MWC: różnic temperatury pomiędzy miastem a terenem pozamiejskim (dT) w obrębie różnych struktur urbanistycznych Warszawy:
 dT_{min} – min. temp. powietrza,
 dT_{avg} – śr. dobowa temp. powietrza,
 dT_{max} – max. temp. powietrza

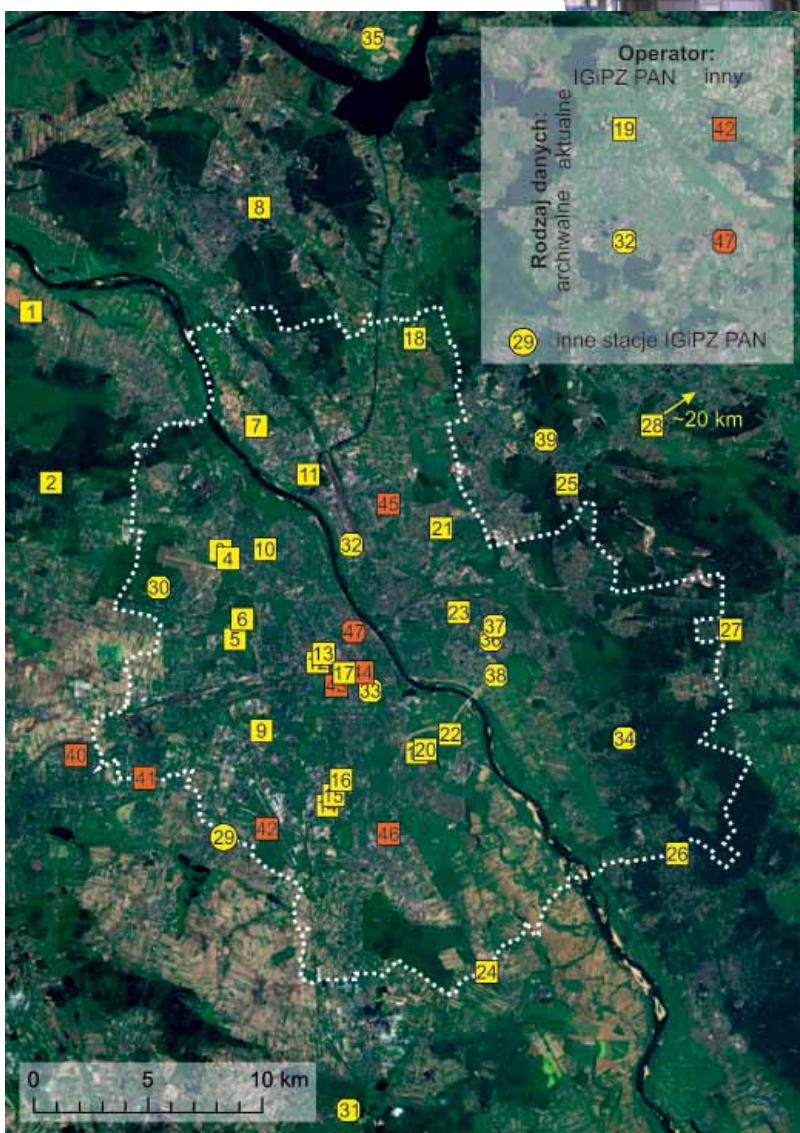
Sieć monitoringu MWC w Warszawie

Miejska Wyspa Ciepła może być badana w różnych skalach przestrzennych:

- ❑ **mezoskala:** dotyczy obszaru całego miasta, zwykle jednostek o wymiarach rzędu kilku kilometrów;
- ❑ **skala lokalna:** w skali tej rozpatrywane są warunki klimatyczne obszarów miasta różniących się własnościami podłoża (np. pokryciem terenu, wielkością budynków i odległością między nimi);
- ❑ **mikroskala:** dotyczy warunków klimatycznych pojedynczych obiektów na obszarze miasta (np. droga, budynek, podwórko, skwer).

Informator

Punkty monitoringu MWC dostarczają danych o temperaturze i wilgotności powietrza rejestrowanych co 10 minut. Dane te są następnie zestawiane w postaci wartości godzinnych i dobowych.



Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, Swisstopo oraz GIS User Community.



Pierwszą sieć monitoringu MWC w Warszawie, składającą się z 12 punktów pomiarowych, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN założył w latach 2001-2002 w ramach projektu *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu Aglomeracji Warszawskiej*.

W roku 2006 w ramach badań klimatycznych prowadzonych w IGiPZ PAN, rozpoczęto zakładanie nowej, zagęszczonej sieci monitoringu. W swej aktualnej postaci działa ona od roku 2010 i składa się z 29 punktów monitoringu należących do IGiPZ PAN oraz 8 stacji będących własnością innych instytucji. Każdy punkt monitoringu posiada szczegółową inwentaryzację terenu, zawierającą informacje o pokryciu terenu, wysokości budynków, wskaźniku intensywności zabudowy (WIZ), rodzaju podłoża, stopniu zakrycia horyzontu, wskaźniku terenów biologicznie czynnych (TBC).



Mapa topograficzna z lokalizacją punktu



Mapa inwentaryzacji terenu



Otoczenie punktu pomiarowego

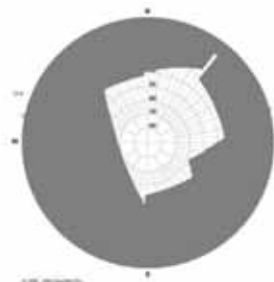


Diagram zasłonięcia horyzontu

**Punkt pomiarowy Hoża (17): zabudowa wielorodzinna zwarta,
położenie 0,6 km od centrum Warszawy,
TBC – 16%, WIZ – 2,23, zasłonięcie horyzontu – 75%**

W latach 2011-2014 IGIPZ PAN brał udział w projekcie *Wypracowanie i zastosowanie strategii adaptacyjnych i ograniczających oraz sposobów przeciwdziałania zjawisku miejskiej wyspy ciepła (UHI)*, realizowanym w ramach programu *Central Europe* i współfinansowanym przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego. Badania Instytutu obejmujące aglomerację warszawską zostały włączone do sieci międzynarodowej obejmującej 8 zespołów miejskich i metropolitalnych: Bolonia-Modena, Wenecja-Padwa, Budapeszt, Lublana, Warszawa-Łódź, Praga, Stuttgart, Wiedeń (<http://eu-uhi.eu/>).



Mapa topograficzna z lokalizacją punktu



Mapa inwentaryzacji terenu



Otoczenie punktu pomiarowego

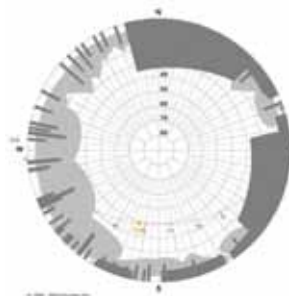


Diagram zasłonięcia horyzontu

Punkt pomiarowy Kobiałka (18): zabudowa jednorodzinna rozproszona, położenie 14,5 km od centrum Warszawy, TBC – 72%, WIZ – 0,33, zasłonięcie horyzontu – 38%

Główne cechy klimatu Warszawy

Promieniowanie słoneczne

W przebiegu rocznym najwyższe wartości promieniowania całkowitego (*Kglob*) w obszarze zabudowanym Warszawy, podobnie jak w całej Polsce, przypadają od maja do lipca, a najniższe w grudniu – co jest związane z wysokością Słońca, długością dnia i stopniem zachmurzenia nieba:

Miesiąc	<i>Kglob (1981-1990)</i>		
	Warszawa-Okęcie	Warszawa-Bielany	Belsk
	(MJ·m ⁻²)	(MJ·m ⁻²)	(MJ·m ⁻²)
Styczeń	63	57	66
Luty	125	122	136
Marzec	248	224	243
Kwiecień	383	355	373
Maj	560	505	517
Czerwiec	531	494	508
Lipiec	565	510	521
Sierpień	479	431	453
Wrzesień	290	268	285
Październik	187	168	181
Listopad	83	74	78
Grudzień	46	41	46
Rok - 1981-1990	3 560	3 249	3 407

źródło: *Meteororm 4.0* i *ESRA*

Po zestawieniu miesięcznych i rocznych sum promieniowania słonecznego na stacji Warszawa-Bielany (zabudowa miejska) i w Belsku, który reprezentuje obszar użytkowany rolniczo, widać wyraźne zmniejszenie się ilości promieniowania słonecznego docierającego do podłoża atmosfery w mieście. W poszczególnych miesiącach zmniejszenie to waha się od około 4 MJ·m⁻²

W wartościach względnych osłabienie dopływu promieniowania w mieście w stosunku do obszaru rolniczego waha się od 2,1% w lipcu do 13,6% w styczniu, a średnio w roku wynosi 4,6%.

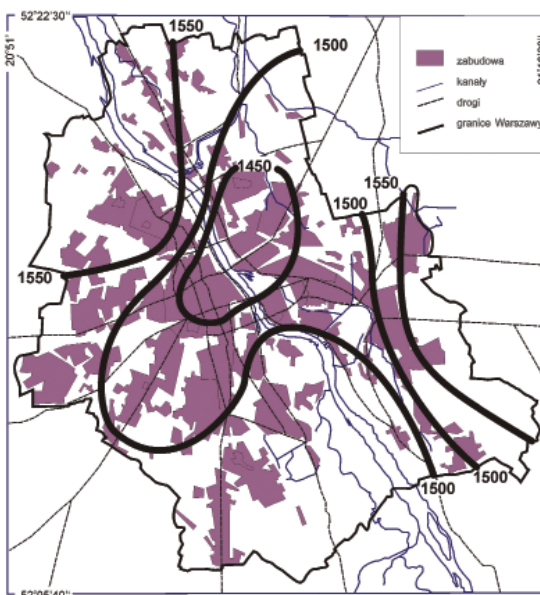
w listopadzie i grudniu do $22 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w sierpniu i $19 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ w marcu. Sumy roczne promieniowania słonecznego zarejestrowane na stacji Warszawa-Okęcie były natomiast o około $150 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ większe niż w Belsku.

Usłonecznienie

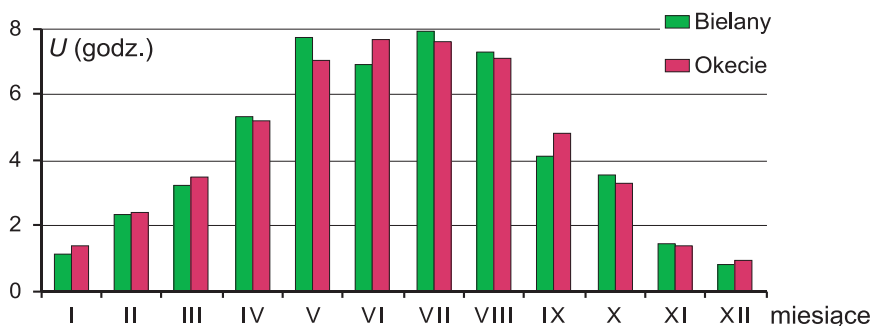
Usłonecznienie rzeczywiste, czyli liczba godzin, podczas których dopływa do podłoża atmosfery bezpośrednie promieniowanie słoneczne, waha się w Warszawie średnio od około 1 godziny w grudniu i styczniu do ponad 7 godzin dziennie w okresie od maja do sierpnia.

W przebiegu rocznym zauważa się nieznaczne uprzywilejowanie pod względem liczby godzin ze słońcem w okresie letnim północnej części Warszawy (stacja Warszawa-Bielany) w porównaniu z południowo-zachodnimi obrzeżami miasta (Warszawa-Okęcie).

Rozkład przestrzenny średnich rocznych sum usłonecznienia przedstawia poniższa rycina, wykonana na podstawie danych z 5 stacji państwowej służby meteorologicznej. Widać na niej wyraźnie, że centralne części Warszawy cechują się zmniejszonym usłonecznieniem; roczna liczba godzin ze słońcem jest tu o około 100 niższa niż w dzielnicach peryferyjnych na północnym zachodzie i na wschodzie miasta.



Średnie roczne sumy usłonecznienia (I. godz.) w Warszawie, 1961-1990, J. Podogrocki

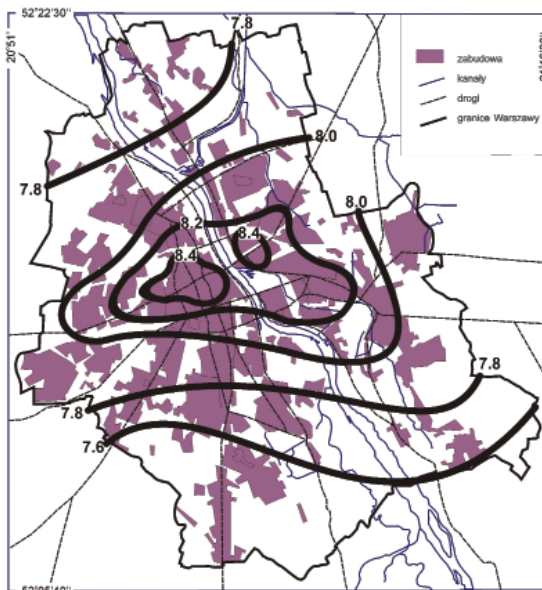


Średnie dzienne usłonecznienie rzeczywiste (U) na stacjach Warszawa-Bielany i Warszawa-Okęcie, 1981-1990

Temperatura powietrza

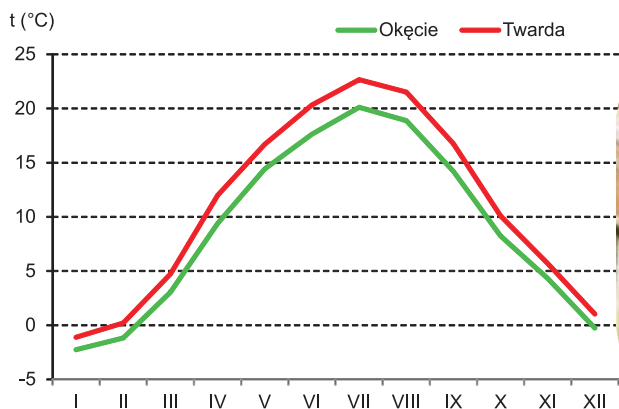
W drugiej połowie XX wieku średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie wynosiła około 8°C, przy czym w centralnych obszarach miasta była ona około 1,0°C wyższa niż na peryferiach; podobnie jest w poszczególnych miesiącach roku. Nieco większe różnice zaznaczały się w przypadku temperatury minimalnej i osiągały w półroczu ciepłym średnio około 1,5°C. Na początku XXI wieku średnia roczna temperatura powietrza na Okęciu wyniosła 8,9°C, zaś w intensywnie zabudowanym centrum Warszawy aż 10,9°C.

Rozkład średniej rocznej temperatury powietrza w Warszawie, 1961-1980, B. Krawczyk

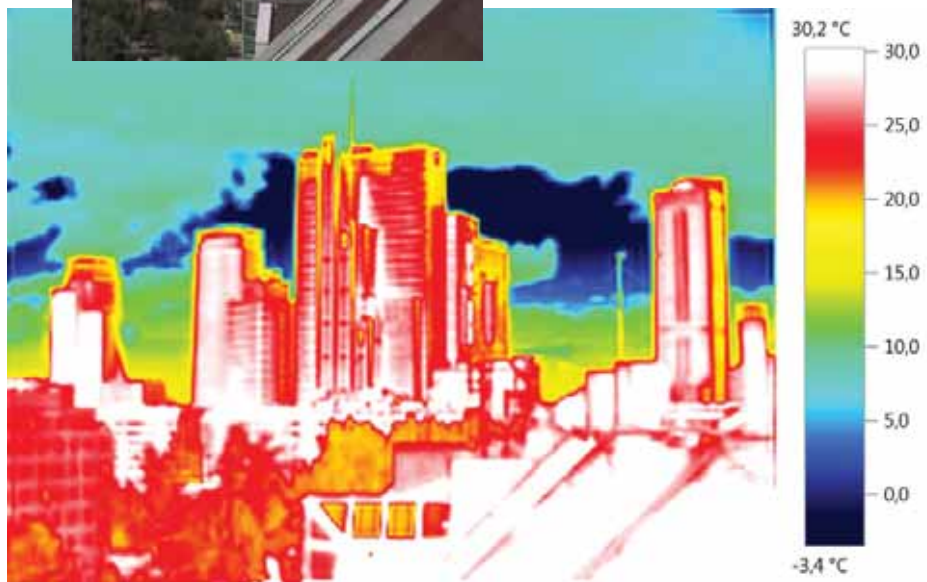


W ciągu całego roku ściśle centrum Warszawy (ul. Twarda) jest wyraźnie cieplejsze niż obszar peryferyjny na Okęciu. Różnica ta jest mniejsza w półroczu chłodnym, kiedy waha się od 1,2°C do 1,9°C, a większa w okresie od czerwca do września, kiedy osiąga 2,6-2,7°C. Jest to potwierdzeniem silnie ogrzewającego wpływu intensywnej zabudowy, szczególnie niekorzystnego latem, kiedy nakłada się na obciążenia cieplne związane z coraz częstszymi w Polsce falami upałów.

Informator



Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza na Okęciu i na ul. Twardej, 2002-2011



Obraz termalny centrum Warszawy, 23 czerwca 2014, godz. 14:31



Opady atmosferyczne

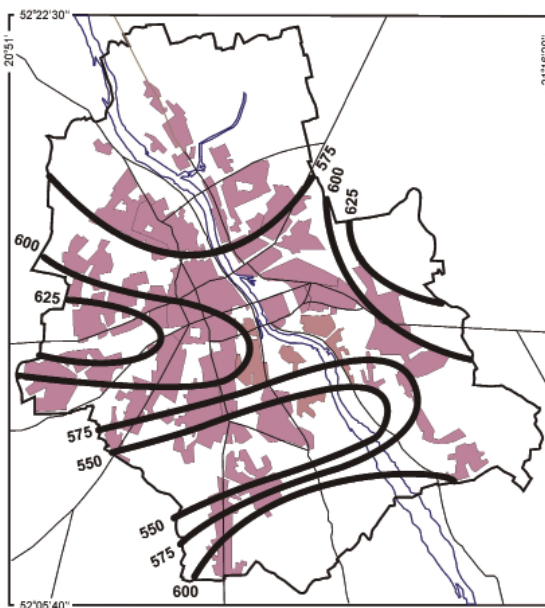
Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych w Warszawie wahają się od poniżej 550 mm na Ochocie i Mokotowie do powyżej 600 mm na krańcach południowych oraz w części zachodniej (Ursus, Wola) i w Śródmieściu.

Prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu ulewnego jest największe (powyżej 90%) na wschodnich (Kawęczyn) i zachodnich (Wola, Ursus) peryferiach miasta. W centrum Warszawy i w Kawęczynie dni z opadem jest średnio o około 40 więcej niż na południowych i północnych krańcach miasta.

W przebiegu rocznym zdecydowanie dominują opady w okresie od maja do sierpnia. W każdym z tych miesięcy spada średnio ponad 50 mm deszczu.

Najbardziej ubogie w opady są styczeń, luty i marzec, kiedy spada tylko niecałe 30 mm opadu. Najwięcej dni z opadem przypada na okres od maja do lipca oraz na listopad.

W przypadku Warszawy wyraźny wpływ na sumy opadów i na ich rozkład przestrzenny mają zanieczyszczenie powietrza oraz powstawanie nad miastem wymuszonych termicznie pionowych prądów wstępujących.



Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych (mm) w Warszawie, 1961-1980, H. Lorenc

Ogólne informacje o MWC w Warszawie

Występowanie Miejskiej Wyspy Ciepła w Warszawie jest widoczne już na mapach rozkładu średniej rocznej temperatury powietrza (str. 12).

Badając w latach 2001-2002 zróżnicowanie przestrzenne Miejskiej Wyspy Ciepła stwierdzono, że w cieplej porze roku jej intensywność w centrum miasta dochodziła do 2,5-3°C. W miesiącach zimowych intensywność MWC była mniejsza i w centrum Warszawy wynosiła 1-1,5°C. Ocieplający wpływ zabudowy miejskiej był wyraźnie obserwowany nie tylko w Śródmieściu i w dzielnicach przemysłowych miasta, ale także w centrum Pragi i Grochowa oraz na wieloblokowych osiedlach, a także wśród zwartej niskiej zabudowy przedmiejskiej. Intensywna MWC występowała także w parkach śródmiejskich, które nocą i wczesnym ranem są pod wyraźnym oddziaływaniem ciepła emitowanego przez otaczające je tereny zabudowane. Ocieplający wpływ miasta był także widoczny w osiedlach śródleśnych. MWC bardzo słabo zaznaczała się na obszarach osiedli z niską, luźną zabudową, a praktycznie zanikała na terenach otwartych wewnątrz miasta.

Uprzywilejowanie termiczne centrum miasta praktycznie zanika, gdy analizuje się zróżnicowanie temperatury maksymalnej powietrza. Średnie miesięczne wartości odchyień tej charakterystyki termicznej od wartości notowanych na obszarze pozamiejskim w obrębie zabudowy wysokiej, zwartej i luźnej, wynoszą około +1°C, a niekiedy wartości temperatury dniem są poza miastem wyższe niż w mieście. Wyraźnie wyższa temperatura maksymalna panuje natomiast w miejscach nasłonecznionych, w których istniejąca zabudowa hamuje ruch powietrza. Parki i inne tereny w mieście z zielenią wysoką cechującą się stosunkowo łagodnymi warunkami termicznymi w ciągu dnia.

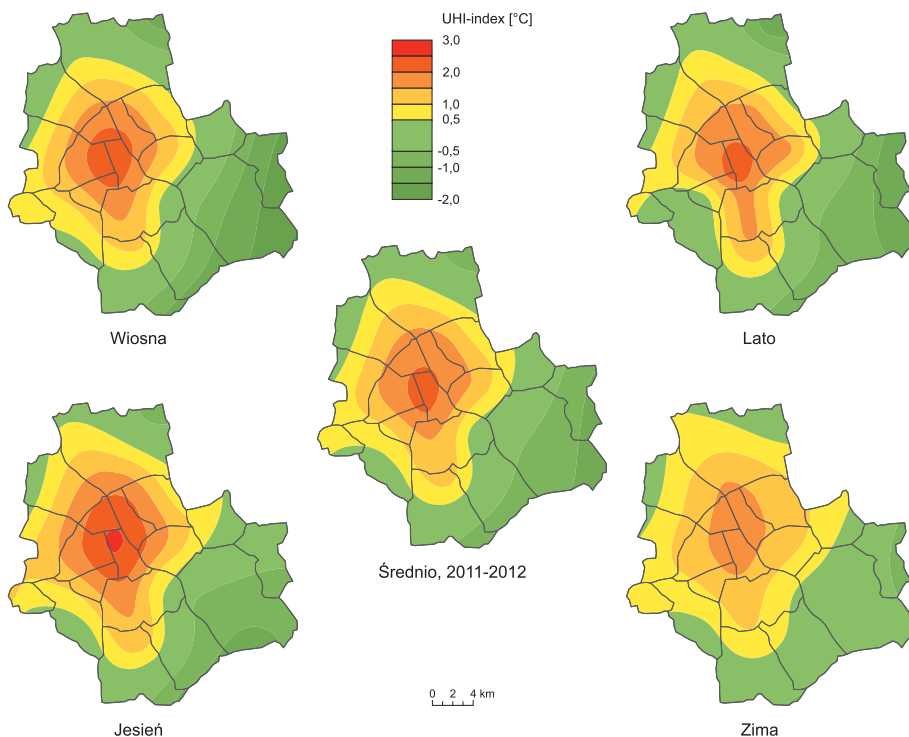
W ciągu dnia o warunkach termicznych w mieście decyduje przede wszystkim ogólna sytuacja pogodowa, a dopiero w drugiej kolejności rodzaj zabudowy.

Obserwacje prowadzone w latach 2011-2012 w 35 punktach na terenie Warszawy i okolic pozwoliły na wykonanie map obrazujących intensywność Miejskiej Wyspy Ciepła w poszczególnych porach roku i średnio w całym roku.

W badanych latach MWC osiągnęła w centralnych dzielnicach miasta średnio 2-2,5°C. Jesienią natężenie MWC jest najwyższe



i w samym centrum Warszawy sięga 3-3,5°C. Stosunkowo małe natężenie MWC obserwowane jest zimą. W tej porze roku obserwuje się natomiast największy zasięg przestrzenny tego zjawiska.

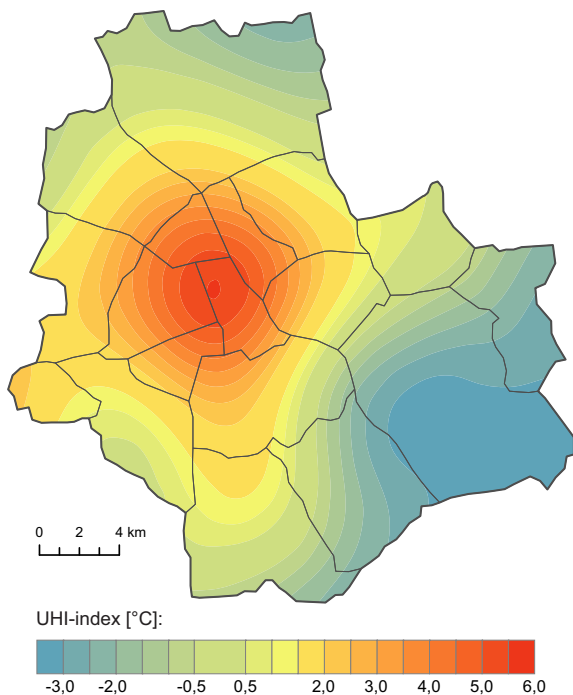


Średnie natężenie Miejskiej Wyspy Ciepła w Warszawie w poszczególnych porach roku oraz średnio w roku, 2011-2012

Średnia roczna temperatura powietrza w Warszawie wynosi 8,3°C, przy czym w centrum miasta jest ona o około 1,0°C wyższa niż na peryferiach. Podobnie jest w poszczególnych miesiącach roku. Nieco większe różnice zaznaczają się w przypadku temperatury minimalnej i osiągają w półroczu ciepłym średnio około +1,5°C. W półroczu chłodnym średnie odchylenie temperatury minimalnej w centrum miasta w stosunku do terenu otwartego wynosi około 1°C.

Informator

W sprzyjających warunkach pogodowych intensywność MWC może być znacznie większa od wartości średnich. 12 maja 2011 r. obserwowano w centrum Warszawy wyspę ciepła o natężeniu przekraczającym 6°C w odniesieniu do stacji Warszawa-Okęcie, i blisko 10°C w odniesieniu do stacji poza granicami miasta (rycina poniżej).



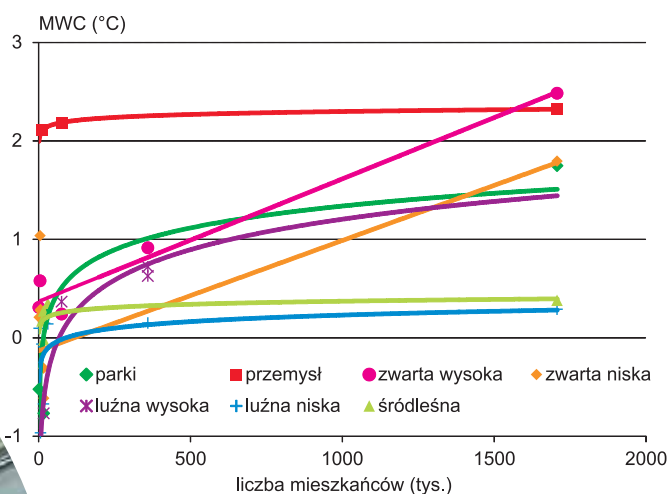
O ile nocą w kształtowaniu Miejskiej Wyspy Ciepła rolę odgrywa przede wszystkim sama obecność zabudowy i sztucznych nawierzchni, o tyle dniem stosunki termiczne są silnie modyfikowane przez zacienienie (drzewami i/lub budynkami) oraz osłabienie lub wzmocnienie prędkości wiatru w kanionach ulicznych.



Intensywność MWC w różnych typach zabudowy

Intensywność Miejskiej Wyspy Ciepła zależy od wielkości miasta a w jego obrębie – od rodzaju istniejącej zabudowy. W każdym z typów zabudowy intensywność Miejskiej Wyspy Ciepła wzrasta liniowo wraz ze wzrostem wielkości miasta, od wartości niewiele przekraczających 0°C w miastach do 5 tys. mieszkańców do 1,5-2,5°C w Warszawie, liczącej blisko 2 mln mieszkańców. Najwyraźniej widać to w przypadku zabudowy zwartej (wysokiej i niskiej).

Tereny parków miejskich również znajdują się pod wyraźnym wpływem MWC. Mimo, że są pokryte szatą roślinną, która niweluje ocieplający wpływ miasta, to ich lokalizacja w centrach miast, otoczenie ruchliwymi ulicami i zwartą zabudową miejską – znacznie je ociepla.



Intensywność MWC w różnych typach zabudowy w zależności od wielkości miasta wyrażonej liczbą mieszkańców

W Warszawie wskaźnik UHI w parkach wynosi około 1,5°C. W zabudowie niskiej luźnej i śródleśnej wskaźnik UHI wynosi jedynie 0,2-0,4°C, co niewątpliwie wynika z faktu, iż są miejsca w znacznym stopniu pokryte szatą roślinną łagodzącą warunki termiczne.

Znając wielkość miasta wyrażoną liczbą mieszkańców (pop, w tys.) można określić natężenie Miejskiej Wyspy Ciepła w różnych typach zagospodarowania terenu za pomocą następujących wzorów:



Zagospodarowanie terenu	Natężenie MWC
Zabudowa zwarta wysoka	0,0012 pop + 0,3695
Zabudowa zwarta niska	0,0011 pop - 0,1314
Zabudowa luźna wysoka	0,4456·Ln(pop) - 1,8737
Zabudowa luźna niska	0,0954·Ln(pop) - 0,4286
Zabudowa śródleśna	0,0451·Ln(pop) + 0,0601
Zabudowa przemysłowa	0,0432·Ln(pop) + 2,0003
Parki miejskie	0,3201·Ln(pop) - 0,8732

Zieleń a MWC

Zieleń, a szerzej tereny biologicznie czynne (lasy, parki, murawy, trawniki, odkryty grunt itp.), odgrywają ważną rolę w kształtowaniu klimatu miasta. W ramach projektu UHI przeprowadzono badania porównawcze MWC i temperatury odczuwalnej UTCI na dwóch osiedlach: Koło i Włodarzewska. Różniły się one intensywnością zabudowy (WIZ), stopniem zurbanizowania oraz powierzchnią terenów biologicznie czynnych (TBC). Dla kontrastu wybrano także rejon ulicy Twardej w centrum miasta. Badania potwierdziły, że percepcja Miejskiej Wyspy Ciepła silnie zależy od obecności zieleni i sposobu zagospodarowania terenu. Na osiedlu Koło, o najmniejszym zurbanizowaniu (WIZ 0,8) i największym udziale terenów biologicznie czynnych (TBC 54%) UTCI było wyraźnie niższe niż na silnie zurbanizowanym osiedlu Włodarzewska (WIZ 1,25, TBC 41%) oraz w centrum Warszawy (WIZ 2,74, TBC 4%). W porównaniu do warunków pozamiejskich UTCI na osiedlu Koło wynosiło 2,2°C, na Włodarzewskiej 2,6°C, a na Twardej – aż 3,8°C. Różnice temperatury odczuwalnej w ciągu dnia wynosiły odpowiednio: 3,9, 6,6 oraz 7,6°C.

Porównując bezpośrednio badane osiedla z centrum Warszawy stwierdzono, że na Kole UTCI była w południe średnio o 5,4°C niższa niż centrum Warszawy. W miejscu najcieplejszym UTCI było tam niższe o prawie 3°C, a w miejscu najchłodniejszym – aż o blisko 9°C. Osiedle Włodarzewska było dniem średnio tylko



o około 1°C chłodniejsze niż centrum. W miejscach najcieplejszych UTCI była porównywalna z centrum miasta, zaś w miejscach najchłodniejszych tylko o niecałe 3°C niższe niż w Śródmieściu.

Różnice UTCI (°C) w godzinach południowych pomiędzy badanymi osiedlami a centrum Warszawy

Osiedle	Średnio	Najcieplejsze miejsce na osiedlu	Najchłodniejsze miejsce na osiedlu
Koło (TBC 54%, WIZ 0.8)	-5,4	-2,8	-8,8
Włodarzewska (TBC 41%, WIZ 1.25)	-1,3	-0,2	-2,9

Z punktu widzenia zdrowia mieszkańców bardzo ważna jest nie tylko sama obecność drzew i krzewów, ale także ich skład gatunkowy. Wiele roślin cechuje się bowiem właściwościami alergennymi. Rośliny te mogą produkować w sezonie pylenia olbrzymie ilości pyłków.

Jeden kwiat dębu może w sezonie pylenia wyprodukować około 400 tys. pyłków, 1 kwiatostan leszczyny około 4 mln, a brzozy 5,5 mln, a do wywołania reakcji alergicznej u osoby uczulonej wystarczy już obecność 50-80 ziaren pyłku/m³. Można zatem zaryzykować stwierdzenie, że ze względu na potencjał alergizujący, nawet pojedyncza roślina może wywierać istotny wpływ na jakość alergologiczną powietrza, którym oddychają mieszkańcy.

Dlatego też przy planowaniu zieleni miejskiej należy się kierować nie tylko estetyką, ale także alergiennością roślin. Gatunki roślin polecane do miast, charakteryzujące się niską alergiennością to:

- ❑ **drzewa** - klon, kasztanowiec, robinia, bez, jarzębina, sosna, świerk, jodła, modrzew oraz żeńskie egzemplarze topoli, jesionu i wierzby;
- ❑ **krzewy** - irga, bukszpan, dereń, forsycja, pigwowiec, sumak, berberys, głóg;
- ❑ **rośliny pnące** - bluszcz pospolity, rdestówka bucharska, winobluszcz pięciolistkowy.

Do roślin silnie alergizujących, które powszechnie występują w mieście należą: brzoza brodawkowata, olcha czarna, leszczyna turecka, buk, dąb czerwony, dąb, jesion wyniosły, lipa drobnolistna, lipa szerokolistna, płatan klonolistny, topola biała i czarna oraz wierzba: babilońska, biała, iwa i krucha.

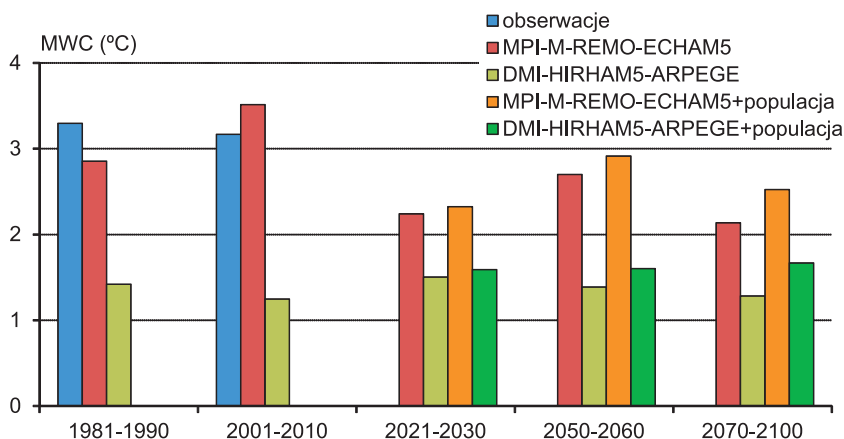
Zmiany klimatu a MWC

W ramach projektu KLIMADA (*Przygotowanie założeń strategii adaptacji sektorów wrażliwych na zmiany klimatu*) realizowanego w IOŚ PIB i finansowanego przez Ministerstwo Środowiska i Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, wykonano symulacje intensywności MWC do roku 2100. Symulacje przeprowadzono dla scenariusza A1B zmian klimatu, dla modeli MPI-M-REMO-ECHAM5 oraz DMI-HIRHAM5-ARPEGE.

W wyniku analiz stwierdzono, że wartości średnie oraz uśrednione wartości maksymalne wskaźnika UHI powinny do końca XXI wieku utrzymywać się w Warszawie na poziomie zbliżonym do obecnego.

Należy jednak założyć nieznaczny jego wzrost związany ze wzrostem wielkości miasta. Uwzględniając wzrost liczby mieszkańców Warszawy w tempie podobnym do obserwowanego w pierwszej dekadzie obecnego wieku można przyjąć, że w roku 2030 miasto będzie liczyło 1 790 tys., w roku 2060: 1 900 tys., a pod koniec wieku – nieco ponad 2 miliony mieszkańców.

Zmiany klimatu spowodują jednak zmiany w wielkości i strukturze zapotrzebowania energetycznego na ogrzewanie i chłodzenie pomieszczeń. Nadal będzie dominowało zapotrzebowanie na zasilanie urządzeń grzewczych. Jednak do końca XXI wieku nastąpi redukcja potrzeb grzewczych o około 28%, a liczba dni, podczas których konieczne będzie ogrzewanie pomieszczeń zmniejszy się z 280 obecnie do 230 w 2070 roku.



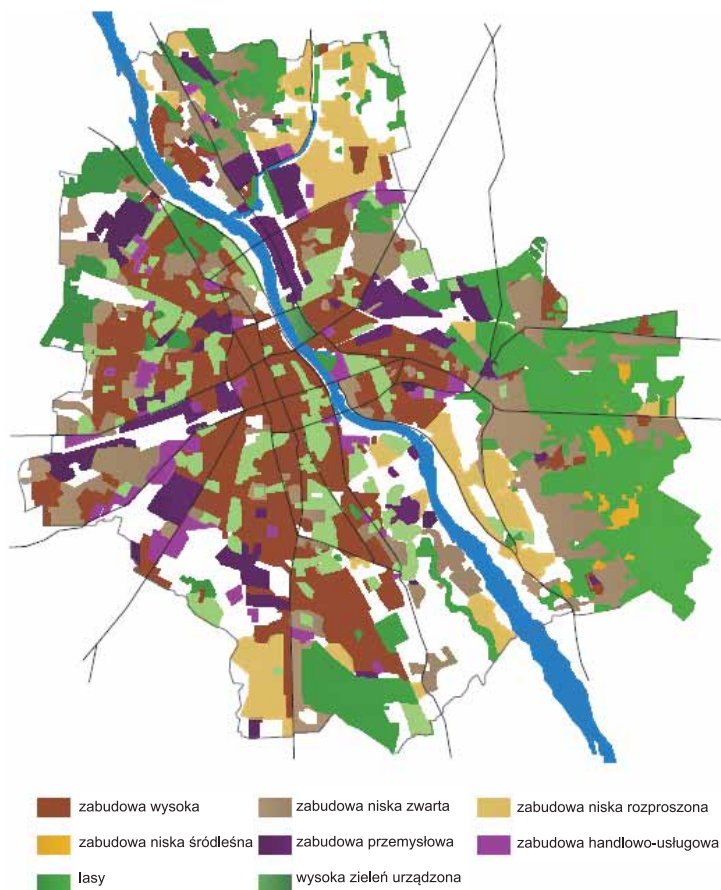
Znaczących zmian należy się natomiast spodziewać w odniesieniu do warunków termicznych, podczas których konieczne będzie uruchamianie urządzeń klimatyzacyjnych. O ile obecnie liczba takich dni wynosi jedynie około 32-34 w roku, o tyle pod koniec wieku dni takich może być aż 75-76. Także sama intensywność sytuacji termicznych zmuszających do chłodzenia pomieszczeń zmieni się drastycznie. Pod koniec wieku zapotrzebowanie energetyczne na pracę urządzeń klimatyzacyjnych wzrośnie aż o 185-190%.

Zjawisko Miejskiej Wyspy Ciepła jest bardzo stabilne, a jego intensywność nie ulega większym fluktuacjom wieloletnim. Miejska Wyspa Ciepła w centrum Warszawy może więc wzrosnąć o 0,1°C do 2030 r., 0,2°C do 2060 r. i 0,5°C do 2100 r.



Układ urbanistyczny Warszawy a MWC

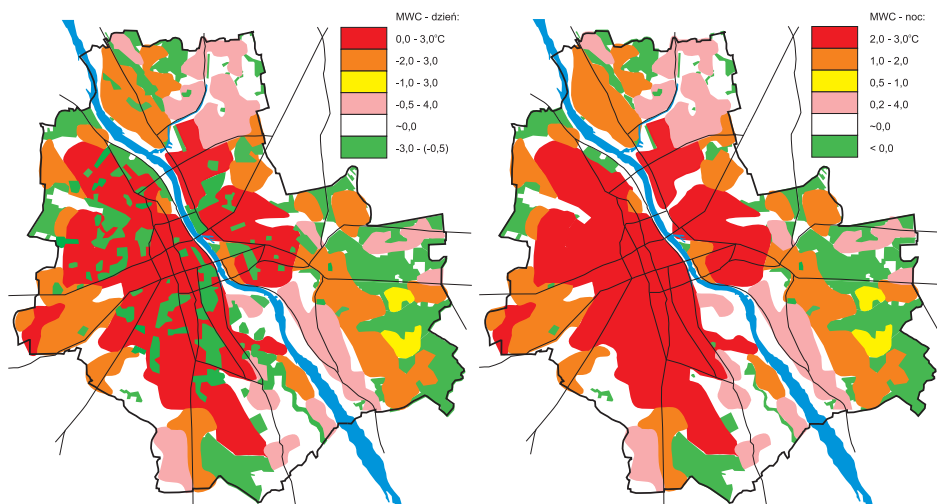
Do oceny rozkładu MWC na terenie Warszawy wyznaczono obszary o różnym typie zagospodarowania, które mają wpływ na jej powstanie, intensywność i zasięg przestrzenny (rycina poniżej, stan na 2011 r.).



Korzystając z podanych na stronie 17 równań obliczono wskaźnik intensywności MWC dla obszaru Warszawy. Obrazowanie rozkładu MWC wykonano dla dwóch okresów doby: godzin nocnych oraz dla godzin okołopołudniowych. Rozróżnienia tego dokonano w związku z wyraźnie różną strukturą termiczną miasta nocą i dniem.

Wydzielono 6 kategorii obszarów o różnej intensywności Miejskiej Wyspy Ciepła. W godzinach nocnych najsilniejsza MWC, osiągająca średnio 2-3°C występuje wśród wysokiej, zwartej zabudowy w centrum miasta oraz w gęsto zabudowanych osiedlach Żoliborza, Pragi, Woli, Ursusa i Mokotowa. Nieco słabsza MWC (1-2°C) pokrywa się w większości z obszarami zwartej i niskiej zabudowy mieszkaniowej i handlowo-usługowej. Wśród

luźnej zabudowy mieszkaniowej Targówka, Wawra, Wilanowa i Wesołej Miejska Wyspa Ciepła ma niewielką intensywność, wynoszącą 0,2-0,4°C.



Na większych obszarach niezabudowanych, zarówno otoczonych zabudową, jak i na jej obrzeżach, MWC nie występuje. MWC nie występuje także na obszarach leśnych leżących na obrzeżach Warszawy oraz wzdłuż koryta Wisły; temperatura powietrza jest tam nawet niższa niż w terenie pozamiejskim (rycina powyżej).

Rozkład Miejskiej Wyspy Ciepła zmienia się w godzinach dziennych. Na obszarach zabudowanych temperatura powietrza może być zarówno wyższa, jak i niższa niż poza miastem. Dużej zmienności przestrzennej należy się spodziewać wśród zabudowy zwartej wysokiej (od 0 do +3°C). Wśród zabudowy niskiej intensywność MWC może się zmieniać lokalnie od -2 do +4°C. W ciągu dnia ważną rolę w kształtowaniu warunków termicznych w mieście odgrywają tereny zieleni wysokiej (parki, lasy). W ich obrębie temperatura powietrza może być nawet o 3-4°C niższa niż wśród sąsiadującej zabudowy. Wyższa jest tam także wilgotność powietrza. Stwarza to bardzo dobre warunki do nawet krótkotrwałego zregenerowania obciążonych układów termoregulacyjnego i krwionośnego mieszkańców miast, zmuszonych wśród zabudowy do intensywnych procesów dostosowawczych. Ma to szczególne znaczenie dla osób starszych i dzieci, których organizmy są w większym stopniu obciążane reakcjami termoregulacyjnymi niż organizmy osób w sile wieku.

Wartości różnic temperatury maksymalnej są zależne od konkretnej lokalizacji. W miejscach nasłonecznionych i zacisznych temperatura powietrza może być znacznie wyższa niż za miastem, natomiast w miejscach zacienionych, z wymuszonym zwiększonym przepływem powietrza temperatura może być niższa niż na peryferiach.

Prognozowane zmiany urbanistyczne Warszawy a MWC

Na podstawie dokumentów planistycznych wyznaczono rozmieszczenie po roku 2070 tych form zagospodarowania terenu Warszawy, które mają wpływ na powstanie, intensywność i zasięg przestrzenny Miejskiej Wyspy Ciepła.

Porównując zasięgi poszczególnych planowanych form zagospodarowania terenu w Warszawie największe zmiany w stosunku do stanu obecnego widoczne są na obszarze dzielnic: Targówek, Wawer, Wilanów i Mokotów (rycina poniżej, stan na 2070 r.)

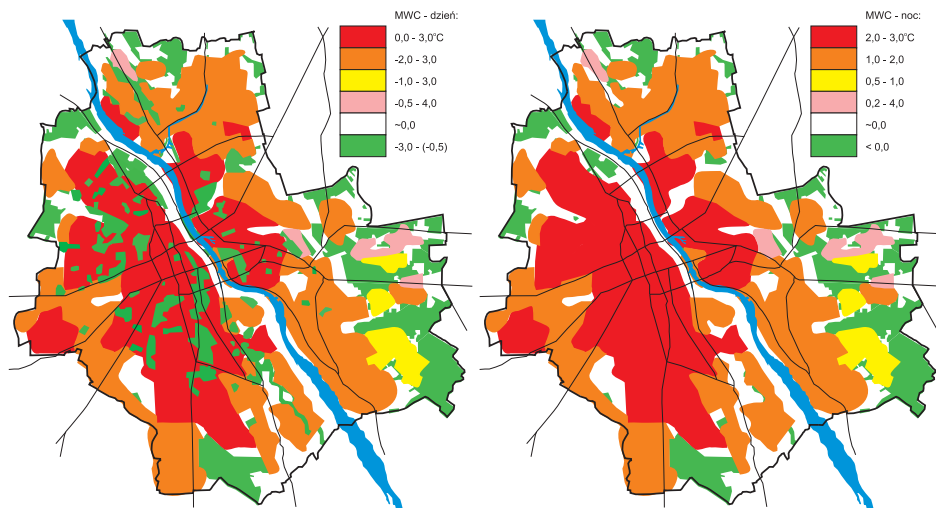


Większość terenów wolnych od zabudowy lub zajętych pod zabudowę niską luźną jest w planach rozwoju miasta przeznaczona pod zabudowę niską zwartą. Wyraźnemu zwiększeniu ulegnie także odsetek terenów z zabudową przemysłową oraz śródleśną (tabela na kolejnej stronie).

Typ zagospodarowania terenu	Rok 2011	Rok 2070
Zabudowa wysoka	19,6	20,1
Zabudowa niska zwarta	15,1	30,5
Zabudowa niska rozproszona	7,5	1,1
Zabudowa śródleśna	0,9	2,3
Zabudowa przemysłowa	6,4	9,8
Zabudowa handlowo-usługowa	2,2	2,2
Lasy	19,7	13,6
Zieleń wysoka urządzona	7,0	6,6
Tereny otwarte	18,8	10,9

W przypadku zrealizowania do 2070 roku planowanych inwestycji budowlanych w Warszawie rozkład Miejskiej Wyspy Ciepła zmieni się bardzo wyraźnie. Zwiększeniu ulegną nie tylko obszary o największym nocnym (2-3°C) natężeniu UHI-index, ale także te, gdzie wynosi on średnio 1-2°C. Ograniczone zostaną tereny, gdzie MWC nie występuje oraz obszary leśne, gdzie temperatura powietrza nocą jest niższa niż poza miastem (ryciny poniżej).

Jak już napisano, w godzinach dziennych w kształtowaniu warunków termicznych wewnątrz miasta bardzo ważną rolę odgrywają parki i zadrzewione skwery oraz zieleń ogrodowa. Dlatego też niepokojący jest brak tych UHI form zagospodarowania terenu na obszarach przeznaczonych pod zwartą zabudowę niską (Targówek, Wawer, Wilanów), których zasięg ma ulec znacznemu powiększeniu (rycina poniżej).



Czy Warszawa jest bezradna wobec przewidywanych zmian MWC ?

Miasta są organizmami żywymi i muszą podlegać rozwojowi. Ważne jest, aby rozwój ten uwzględniał nie tylko czynniki ekonomiczne, ale także społeczne i środowiskowe.

Obecność Miejskiej Wyspy Ciepła sprawia, że obszar miasta jest cieplejszy niż jego otoczenie. Zimą istnienie MWC prowadzi do niewielkiego, rzędu 2-8%, ograniczenia potrzeb grzewczych w gospodarstwach domowych w stosunku do obszarów otaczających miasto. Te stosunkowo niewielkie korzyści są niwelowane przez zwiększone latem zapotrzebowanie na pracę urządzeń chłodniczych i klimatyzacyjnych. Istotne znaczenie ma także zwiększone na skutek MWC ryzyko pojawiania się wśród mieszkańców miast (zwłaszcza w grupie osób po 65 roku życia) problemów zdrowotnych, szczególnie nasilenia dysfunkcji układu krążenia.

Ważną rolę w kształtowaniu warunków termicznych w miastach odgrywa sposób jego zagospodarowania, a zwłaszcza występowanie wśród zabudowy obszarów zadrzewionych (naturalnych lub wprowadzonych przez człowieka). Obszary te są oazami względnego chłodu w ciągu dnia dając możliwość okresowego niwelowania nadwyżek ciepła w organizmie człowieka przebywającego wśród zabudowy. Jest to szczególnie ważne przypadku dzieci i osób starszych, które mogą się tu łatwo schronić w czasie upałów.

W świetle postępującego ocieplania się klimatu sytuacje bardzo silnego stresu gorąca w miastach będą występować coraz częściej i z coraz większą intensywnością.

Dodatkowym, niebezpiecznym dla zdrowia podczas fal upałów, czynnikiem jest zwiększona obecność ozonu związana z transportem samochodowym.

Zjawiska Miejskiej Wyspy Ciepła nie da się wprawdzie zlikwidować, można jednak poprzez odpowiednie działania planistyczne na szczeblu ogólnomiejskim i lokalnym, wpływać na jego intensywność. Właściwe działania planistyczne ułatwią także adaptację mieszkańców miast do tego zjawiska.



Wśród działań ograniczających Miejską Wyspę Ciepła powinny się znaleźć następujące punkty:

- ❑ **zachowanie** w przestrzeni miasta **powierzchni niezabudowanych** – pozwoli to na złagodzenie procesów nagrzewania się przestrzeni miejskiej, a poprzez łatwiejszy ruch powietrza - na łagodzenie stresu termicznego;
- ❑ **zachowanie klinów nawietrzających** (i ich odnowa), które pozwalają na penetrację w głąb miasta świeżego, czystego, stosunkowo chłodnego i wilgotnego powietrza, poprawiając jakość życia w mieście;
- ❑ **zachowanie** już istniejących **obszarów zieleni wysokiej** – pozwoli to na lokalne obniżenie temperatury w sąsiedztwie zabudowy, a poprzez ograniczenie nasłonecznienia na łagodzenie latem stresu termicznego oraz na regenerację przeciążonych ciepłem organizmów mieszkańców, którzy mogą się tu schronić;
- ❑ **wprowadzenie** na obszarach przewidywanych dla dalszej intensywnej zabudowy **terenów zieleni z zadrzewieniem**;
- ❑ **rozwój zadrzewień przyulicznych** jako naturalnego zacienienia chodników;
- ❑ **zacienianie** zielenią **placów miejskich, skwerów i placów zabaw**;
- ❑ **wprowadzanie** na szerszą skalę **zielonych dachów** oraz tzw. zielonych ścian.

Z kolei w celu poprawy warunków klimatycznych w obrębie osiedli mieszkaniowych należałoby stosować:

- ❑ jak największy **udział terenów biologicznie czynnych**, ale przynajmniej 42-45%;
- ❑ **ogródki** przy budynkach **o zróżnicowanych wysokościami gatunkach** (z drzewami i krzewami liściastymi, a nie tylko płożącymi gatunkami iglastymi);
- ❑ w przypadku osiedli sąsiadujących z parkami i innymi otwartymi terenami biologicznie czynnymi: **układ budynków, który nie odgrodzi osiedla od korzystnego wpływu terenów zewnętrznych**, umożliwi oddziaływanie bryzy znad/do parku na wewnątrz osiedla;
- ❑ **układ budynków, który nie wywołuje efektu tunelowego wiatru**, ale też nie tworzy przestrzeni całkowicie zamkniętych na ruch powietrza;
- ❑ **brak murów wokół osiedla**, a zastąpienie ich lżejszym ogrodzeniem, umożliwiającym przepływ powietrza;
- ❑ w przypadku renowacji **elewacji budynków – stosowanie jasnych barw** i materiałów cechujących się podwyższoną izolacyjnością termiczną i wysokim albedo.

Przede wszystkim jednak należy z dużą rozważą i w jak najmniejszym stopniu zabudowywać istniejące w mieście tereny biologicznie czynne. Gdziekolwiek możliwe tworzyć nowe parki i zieleńce o zróżnicowanej wewnętrznie strukturze, zaś przy wszystkich nowych inwestycjach należy bezwzględnie chronić rosnące już wysokie drzewa.

Działania te pozwolą jedynie na zmniejszenie intensywności MWC, a nie na jej wyeliminowanie. W warunkach zmian klimatu i zmian urbanistycznych w mieście konieczne będzie także rozpoczęcie intensywnych działań adaptacyjnych:

Informator

- ❑ **wprowadzenie programów edukacyjnych** na różnych szczeblach kształcenia, uświadamiających istotę i konsekwencje Miejskiej Wyspy Ciepła dla zdrowia i jakości życia mieszkańców;
- ❑ **prowadzenie stałego monitoringu** Miejskiej Wyspy Ciepła;
- ❑ **stworzenie systemu** wyprzedzającego **informowania społeczeństwa** o zasięgu i intensywności MWC, w tym wskazanie miejsc, gdzie będzie ona największa;
- ❑ wprowadzenie rozwiązań prawnych i mechanizmów finansowych, pozwalających na **wyposażenie obiektów użyteczności publicznej oraz mieszkań w urządzenia klimatyzacyjne**;
- ❑ **wprowadzenie systemu wczesnego ostrzegania** o zwiększonym ryzyku **problemów kardiologicznych** związanych z falami upałów i epizodami intensywnej Miejskiej Wyspy Ciepła;
- ❑ wprowadzenie **systemu wspomagania osób chorych i w podeszłym wieku** w sytuacji występowania fal upałów i epizodów intensywnej Miejskiej Wyspy Ciepła;
- ❑ prowadzenie **monitoringu zagrożeń alergicznych** oraz uruchomienie systemu wsparcia dla pacjentów alergicznych;
- ❑ **zmianę struktury roślinności** osiedlowej w kierunku zastąpienia roślin silnie alergizujących na gatunki niealergizujące.

Zarówno w działaniach ograniczających, jak i adaptacyjnych niezbędna jest zgodna współpraca naukowców (klimatologów, meteorologów), urbanistów i architektów, lekarzy i służb socjalnych oraz władz miasta. Konieczna jest także partycypacja społeczna poprzez stowarzyszenia i placówki edukacyjne. Istotną rolę mogą także odgrywać media, które poprzez rzetelne informacje pomogą wszystkim zrozumieć problemy związane z Miejską Wyspą Ciepłą.



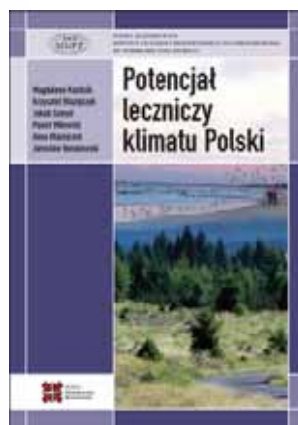


**Tereny biologicznie
czynne w Warszawie
w różnej skali
przestrzennej**

Pozostałe badania klimatyczne prowadzone w Instytucie Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk

IGiPZ PAN ma wieloletnie doświadczenie w badaniach wpływu klimatu na człowieka oraz w analizach właściwości leczniczych i profilaktycznych klimatu miejscowości uzdrowiskowych. Posiadamy także uprawnienia do wydawania gminom świadectw potwierdzających właściwości lecznicze klimatu na podstawie przeprowadzonych badań (Decyzja Nr 2, MZ-OZU-521-10740/GR/07).

W latach 2007-2013 wykonaliśmy operaty klimatyczne i wydaliśmy certyfikaty potwierdzające lecznicze właściwości klimatu 43 miejscowości, w tym 28 uzdrowisk.



Prowadzimy także badania klimatu lokalnego



Badania klimatu akustycznego

- w otoczeniu wybranych odcinków dróg w Polsce
- w otoczeniu elektrowni wiatrowych

