

Wydział Instalacji
Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska



Ogólnopolski Konkurs

ZRÓWNOWAŻONE ŚRODOWISKO

Przewodnik po edycji 24/25'
Miejska Wyspa Ciepła



Wydział Instalacji
Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska

Politechnika Warszawska

Konkurs o indeks PW „ZRÓWNOWAŻONE ŚRODOWISKO”

Edycja 24/25' – Miejska Wyspa Ciepła

Autor Przewodnika:
Łukasz Krysiak

Partner Konkursu
 **ARCADIS**

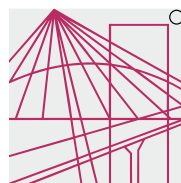
Patronat Honorowy



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ



P O L S K A
I N Ż Y N I E R Ó W
B U D O W N I C T W A

Patronat medialny

**CIEPŁOWNICTWO
OGRZEWNICTWO
WENTYLACJA**
DISTRICT HEATING, HEATING, VENTILATION

**Gaz, Woda
i Technika Sanitarna**
Gas, Water & Sanitary Engineering

**GOSPODARKA
WODNA**

Opinie
Uczelniach

**P O L S K I
INSTALATOR**

**RI Rynek
instalacyjny**

ACI
AKADEMICKIE
CENTRUM
INFORMACYJNE
uczelnie.info.pl
MATURA STUDIA KARIERA

O co chodzi w naszym Konkursie?

Konkurs jest zaproszeniem dla wszystkich kreatywnych i zaangażowanych uczniów do zrobienia tego, czym zajmują się inżynierowie – czyli do zmieniania naszego świata na lepsze, kawałek po kawałku.

Twoim pierwszym krokiem będzie przyjrzenie się własnej okolicy. Na pewno znasz miejsca w Twojej (lub pobliskiej) miejscowości, które potrzebują zmiany. Może betonowy plac, zaniedbany skwer, ulice zajęte przez parkingi i jezdnie? Pamiętaj, że to Twój wybór, z reguły to mieszkańcy najlepiej wiedzą, jakie bolączki doskwierają ich okolicy. Pierwszym krokiem ku poprawie tego miejsca jest diagnoza – analiza problemu. Dobrze gdybyś odwiedził/a to miejsce i krytycznie się mu przyjrzał/a, zaobserwował/a życie, zachowanie ludzi w danym miejscu. Dzięki identyfikacji problemu będziesz w stanie później zaproponować rozwiązania, które pozwolą na zmianę.

No dobrze, ale właściwie o jakie problemy i jaką zmianę nam chodzi? Miasta to złożone systemy, które niezwykle trudno zrównoważyć. Dlatego w tegorocznej edycji Konkursu zwrócimy szczególną uwagę na **jeden, bardzo konkretny problem urbanistyki**, któremu poświęcony jest też nasz Przewodnik.

W tym krótkim Przewodniku przyjrzymy się, w jaki sposób zagospodarowanie przestrzenne w miastach kształtuje warunki klimatyczne, w których żyją jego mieszkańcy. Przekonamy się dlaczego jest to temat równie ciekawy i ważny, jak inne środowiskowe problemy trafiające do nagłówków w mediach, jak choćby smog. Wreszcie, odpowiemy sobie na pytanie:

Co Ty możesz zrobić, aby naprawić swoje miasto?

CO ZAWIERA PRZEWODNIK?

- Krótki opis problemu Miejskiej Wyspy Ciepła
- **Opis zadania konkursowego**
- Dlaczego MWC jest zjawiskiem istotnym?
- Co wpływa na MWC?
- Jak inżynierowie modelują MWC

Korzystanie z Przewodnika nie jest obowiązkowe. Postaraliśmy się jednak, aby zawrzeć w nim szereg istotnych informacji, które powinny ułatwić przygotowanie prac.

W załączniku 1 przedstawiono przykładową analizę zjawiska, zgodną z opisaną w Przewodniku metodą. Stanowić ma ona inspirację i objaśnienie, a nie wzorzec do kopiowania. Do decyzji Uczestników zostawiamy to, w jaki sposób zmierną się z problemem i, co najważniejsze, jakie zaproponują rozwiązania. Tutaj ograniczeniem jest tylko wyobraźnia! Zmiana *status quo* wymaga zwykle przełamania schematów i „kolein” myślowych.

Kwestia klimatu – brzmi znajomo?

Zmiany klimatu – kto o nich nie słyszał? Paliwa kopalne, gazy cieplarniane, wzrost średniej temperatury na świecie, ekstremalne zjawiska pogodowe, transformacja energetyczna, itd. Większość Polaków, w szczególności uczniów szkół średnich, doskonale odczytuje ten ciąg zjawisk¹. Nic dziwnego, skoro od wielu dekad zmiany klimatu są przedmiotem rozległych badań, analiz, modelowania, króluje ona również w tekstach publicystycznych².

Charakteryzując krótko zmiany klimatu należy stwierdzić, że to proces na skalę globalną, spowodowany emisją gazów cieplarnianych i zachodzący z perspektywy człowieka w długim horyzoncie czasowym.

Chwila!

Ale czy wiesz, że człowiek modyfikuje również warunki klimatyczne w inny sposób? W tym Przewodniku przyjrzymy się innej, antropogenicznej „zmianie klimatu”, która jest:

- lokalna,
- nie związana z emisją gazów cieplarnianych,
- krótkoterminowa i nietrwała.

Czy domyślasz się o jakim zjawisku mowa?



Ilustracja 1. Ludzie w ich „naturalnym” środowisku³

¹ [Badanie świadomości ekologicznej w Polsce](#)

² Świetnym źródłem przekrojowo opisującym zmianę klimatu jest podręcznik [Klimatyczne ABC](#)

³ Źródło ilustracji - [Unsplash | Jacek Dyląg](#)

Miasta i ich klimat

Nasze miasta są projektowane i budowane w jednym celu – stworzyć miejsce z optymalnymi warunkami do życia i rozwoju mieszkańców. A raczej powinny być. Czy dobrze nam to wychodzi?

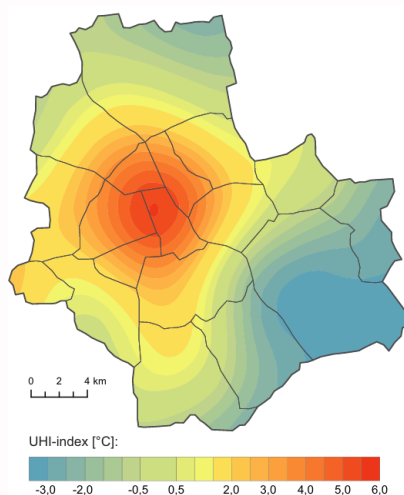
Na świecie obserwujemy szybką urbanizację, w miastach mieszka obecnie 4,5 mld ludzi⁴. W Polsce mimo stałego (około 60%) wskaźnika urbanizacji, miasta również nie stagnują – w latach 2022-23 oddano do użytkowania ponad 450 tys. mieszkań, a ich deficyt wciąż szacuje się na 1,5-2 mln lokali⁵. Oprócz inwestycji mieszkaniowych powstają drogi, koleje, biura, place, obiekty sportowe... Najgęściej zaludniona warszawska dzielnica – Ochota – jest zamieszkiwana przez 8000 os./km²⁶. To więcej niż średnia dla np. Tokio. Przez długi czas w Polsce renowacje przestrzeni miejskiej polegały na tworzeniu utwardzonych placów, co nazywamy obecnie *betonozą*, czyli taką „chorobą” miast. Opisana mieszanka czynników stanowi idealną pożywkę, którą „karmi się” nurtujący nas problem. Nazwijmy więc wreszcie czarny charakter naszego Przewodnika⁷:

MIEJSKA WYSPA CIEPŁA

Miejska Wyspa Ciepła (MWC) to zjawisko klimatyczne polegające na występowaniu **wyższej temperatury** w danym miejscu w mieście, w porównaniu do średniej temperatury na okolicznych obszarach wiejskich. Może się ona wahać **od kilku do nawet ponad 10°C, zwłaszcza w godzinach wieczornych**.

Dla tych, którzy wolą obejrzeć i posłuchać – [krótki film o MWC](#).

Uwaga – są różne sposoby i miejsca pomiaru temperatury. My będziemy się skupiać na temperaturze powietrza około 1,5-2 m nad terenem, która najbliższa jest temu, co czuje człowiek i mieści się w standardach pomiarów meteorologicznych. Warto też zaznaczyć, że mówimy o temperaturze środowiska zewnętrznego, np. na ulicach miasta, a nie wewnątrz budynków.



Ilustracja 2. 12 maja 2011 obserwowano w centrum Warszawy MWC o natężeniu blisko 10°C w odniesieniu do stacji poza granicami miasta⁸.

⁴ [Dane o urbanizacji na świecie](#)

⁵ Dane o mieszkalnictwie w Polsce: [1] i [2]

⁶ [Gęstość zaludnienia w Warszawie](#)

⁷ [Informacje o Miejskiej Wyspie Ciepła](#)

⁸ Źródło ilustracji i danych - [MWC w Warszawie wg PAN - informator](#)

Zadanie konkursowe

Chcesz, by Twoje miasto stwarzało lepsze warunki do życia mieszkańców?

Masz dużo pomysłów, jak zmienić swoje otoczenie na bardziej przyjazne dla człowieka?

Postaw się w roli inżyniera i planisty, zidentyfikuj problemy swojego miasta, wykonaj ich analizę i zaproponuj własne rozwiązanie!

Nasze zadanie związane jest oczywiście ze zjawiskiem **Miejskiej Wyspy Ciepła**. Kolejne jego etapy przedstawiono **na infografice** na kolejnej stronie.

Jak przygotować swoje zgłoszenie?

Chociaż tematyka Konkursu jest precyzyjnie określona (Miejska Wyspa Ciepła), to zadanie konkursowe jako takie nie jest ściśle zdefiniowane. Zamiast tego proponujemy szerokie ramy, w których wybór analizowanego terenu, zwrócenie uwagi na konkretne problemy, sposób ich rozwiązania, i wreszcie formę zaprezentowania swojej koncepcji pozostawiamy Uczestnikom. Musimy jednak mieć pewne kryteria, według których będziemy oceniać prace konkursowe, a te są szczegółowo podane w regulaminie. W skrócie można je opisać następująco:

- Zadanie polega na stworzeniu koncepcji zmiany zagospodarowania terenu miejskiego.
- Obejmuje wybór lokalizacji, analizę stanu, opis istniejących problemów, dobór rozwiązania, opracowanie koncepcji, wyjaśnienie i podanie przesłanek za nią przemawiających.
- Pamiętajmy, by przy wyborze rozwiązania kierować się nie tylko kwestiami technicznymi i ekonomicznymi, ale również społecznymi i środowiskowymi, z dostosowaniem do lokalnych uwarunkowań i odpowiednio uargumentować swoją koncepcję.
- Forma opracowania powinna być „inżynierska”, czyli analizy, opisy i koncepcje powinny być przedstawione zrozumiale, precyzyjnie, wyczerpująco i merytorycznie. Można się w tym celu posłużyć różnymi formami, np. rysunkami, zdjęciami, opisami, obliczeniami, animacjami, filmami, prezentacjami, modelami, grafikami itp. Częścią pracy może być też krótki materiał promujący zalety wybranego rozwiązania, skierowany do szerszej społeczności – grafika, rolka, animacja na media społecznościowe 😊
- Kryteria oceny prac konkursowych to: trafność diagnozy, twórcze spojrzenie na wybrany problem, zasadność proponowanych rozwiązań, jakość merytoryczna pracy, forma przedstawienia koncepcji.

Teraz już wiesz, na czym polega zadanie, ale to nie koniec naszego Przewodnika. W kolejnych rozdziałach możesz przeczytać więcej o tym, dlaczego zjawisko MWC ma znaczenie i co wpływa na jego powstanie. Poznasz metodę, dzięki której inżynierowie mogą przewidzieć intensywność MWC na danym terenie. Ty również możesz ją wykorzystać, by wybrać optymalny sposób zagospodarowania swojego obszaru! Na koniec zamieszczono też przykład zastosowania tej metody dla osiedla w Warszawie

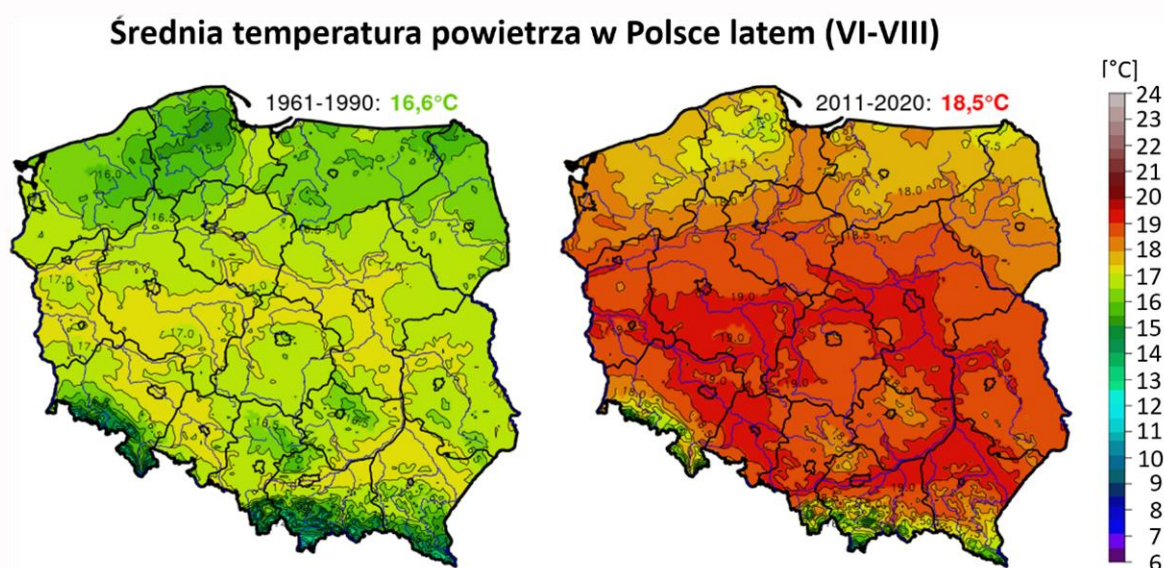
Zadanie konkursowe

Twoim zadaniem jest zaproponowanie zmiany zagospodarowania terenu w wybranym mieście. Jej celem jest ograniczenie niekorzystnego zjawiska Miejskiej Wyspy Ciepła (MWC) i poprawa jakości życia mieszkańców.



Dlaczego zjawisko MWC jest warte uwagi?

Jeszcze parę dekad temu w ówczesnym polskim klimacie moglibyśmy nie zwracać specjalnie uwagi na MWC. Co więcej, gdybyśmy zaczęli analizować jego wpływ na miasto i jego mieszkańców, moglibyśmy być nawet zadowoleni – cieplejsze zimy to mniejsze trudności w funkcjonowaniu i niższe koszty związane np. z ogrzewaniem. Wówczas fale upałów były stosunkowo rzadkie, a średnia temperatura powietrza latem wyraźnie niższa (ilustr. 3). Obecnie jednak sytuacja odwraca się – zimy są łagodne, a to porze letniej towarzyszą bardziej skrajne i niekorzystne warunki meteorologiczne. Powodem są oczywiście zmiany klimatu, które już zaczęliśmy odczuwać, a modele badaczy sugerują, że to dopiero początek kłopotów⁹.



Ilustracja 3. Zmiana średniej temperatury powietrza w Polsce latem¹⁰

Widzimy więc, że zjawisko MWC będzie problemem narastającym z czasem. My musimy jednak myśleć o tym już teraz.

Infrastruktura miast powstaje bowiem z myślą o użytkowaniu przez co najmniej kilkadziesiąt lat, a raz zbudowany **ład przestrzenny niezwykle trudno odmienić** nawet w perspektywie kilkuset lat (czego przykłady, w tym tzw. zabudowę tanową, omawia [ten krótki film](#)).

⁹ [Raport IPCC](#) dot. zmiany klimatu

¹⁰ [Zmiana klimatu w Polsce na mapkach](#) – źródło danych - [IMGW](#)

Upał – ale co w tym złego?

Wysoka temperatura to nie tylko subiektywny dyskomfort. Istnieje cała lista niekorzystnych efektów upałów, poniżej podano kilka przykładów¹¹:

- Zwiększenie zapotrzebowania na energię do chłodzenia pomieszczeń. Prowadzi do większej emisji gazów cieplarnianych oraz dodatkowego dogrzania przestrzeni miejskiej (jest to sprzężenie zwrotne);
- Pogorszenie jakości powietrza w mieście przez zwiększone powstawanie ozonu w niskiej atmosferze i wydzielanie przez rośliny większej ilości alergenów;
- Szkodliwy wpływ na zdrowie – tzw. stres termiczny. Obejmuje zwiększenie częstości udarów cieplnych, zaostrzenie chorób układu krążenia i oddechowego. Podniesienie poziomu stresu, co wiąże się z bezsennością, zaburzeniami nastroju, nadciśnieniem, a nawet zaburzeniami psychicznymi. Dotyka w szczególności osób starszych, małych dzieci, przewlekle chorych, ubogich i pracujących fizycznie na zewnątrz;
- Pogorszenie zdolności poznawczych, co skutkuje gorszymi wynikami w szkole i w pracy, mniejszą spostrzegawczością i większym rozkojarzeniem;
- Prognozy ekonomiczne dla największych miast świata wskazują na średni spadek produktywności (mierzonej w PKB) z powodu MWC i zmiany klimatu rzędu 1,5% do 2050 roku. Szacuje się też, że straty finansowe wynikające z ocieplenia w miastach będą nawet 2,6 razy wyższe właśnie przez wpływ MWC.

Reasumując – mamy urbanizację, postępujące przekształcanie terenu, starzejące się i mniej zdrowe społeczeństwo, przyspieszające globalne ocieplenie, a na dodatek budujemy miasta, które nas grzeją jeszcze bardziej. Czas więc odpowiedzieć sobie na pytanie:

Co możemy z tym zrobić?

Co wpływa na Miejską Wyspę Ciepłą

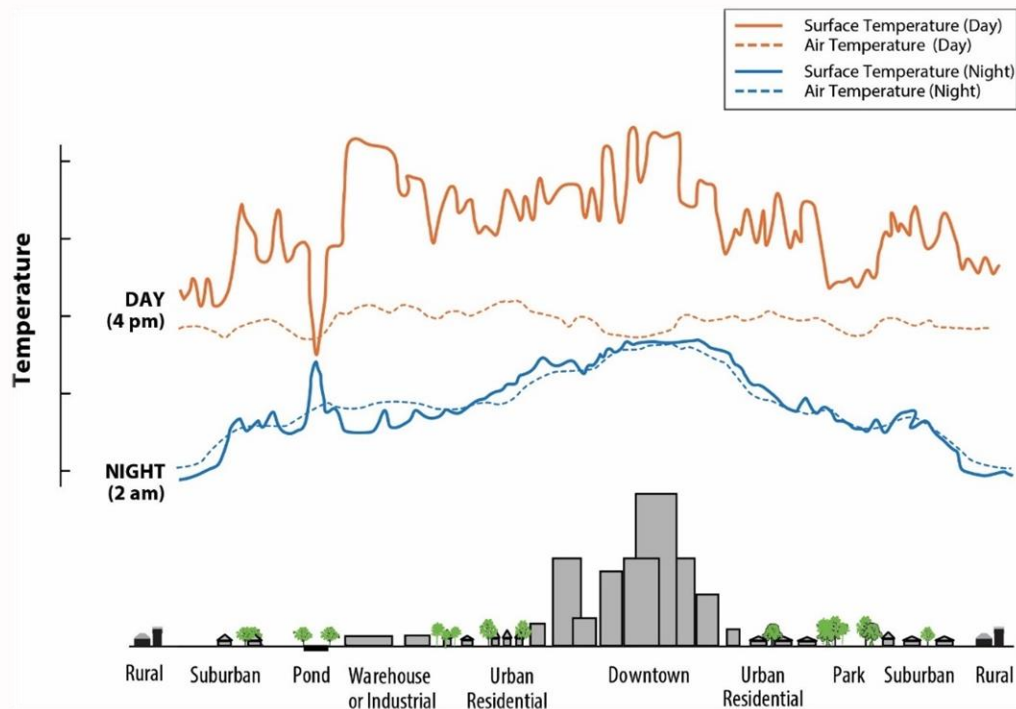
Poznajmy lepiej naszego wroga, aby móc się z nim zmierzyć. MWC jest już od wielu lat przedmiotem badań, które doprowadziły do rozpoznania głównych przyczyn powstawania tego zjawiska. Więcej na ten temat można przeczytać w źródłach podanych niżej¹². Poniższa lista przedstawia w skrócie główne czynniki sprzyjające MWC:

- zmniejszone albedo powierzchni – oznacza, że większa część energii promieniowania pochłaniana jest przez materiały (i nagrzewa je), a mniejsza ulega odbiciu;
- geometria miasta – tzw. miejskie kaniony – powodują wielokrotne odbijanie się promieni słonecznych i dodatkowe zwiększenie pochłaniania promieniowania;
- wysoka zdolność materiałów do magazynowania ciepła i emitowania go w nocy;
- powierzchnie nieprzepuszczalne dla wody - zmniejsza się parowanie z gleby i szaty roślinnej, które mogłoby obniżyć temperaturę;
- brak zacienienia chodników, ulic i placów – oznacza, że promieniowanie słoneczne dociera bezpośrednio w te obszary, na których przebywają ludzie;

¹¹ [Portal Klimada o MWC](#); [EPA o skutkach MWC](#); [krótki film o skutkach MWC](#); [World Bank o ekonomicznych skutkach MWC](#); [koszty MWC i zmiany klimatu dla miast](#)

¹² [MWC w Warszawie wg PAN - informator](#); [Climate Central – Urban Heat Islands](#)

- osłabione przewietrzanie – wysoka i gęsta zabudowa ogranicza swobodę przepływu powietrza, które w efekcie silniej się nagrzewa;
- aktywność człowieka – ciepło emitowane przez działanie ogrzewania i klimatyzacji w budynkach, ruch samochodowy, urządzenia, produkcję towarów itp.;
- efekt cieplarniany towarzyszący miastu – koncentracja zanieczyszczenia powietrza skutkuje większą ilością ciepła emitowanego nad miastem do jego wnętrza.



Ilustracja 4. Zjawisko MWC na wykresach – temperatura powietrza i powierzchni terenu w zależności od sposobu jego zagospodarowania¹³

Źródła podają szereg „dobrych praktyk”, które pozwalają zmniejszyć MWC. W zasadzie polegają one na przeciwdziałaniu mechanizmom wymienionym na poprzedniej stronie. Niektóre z nich to¹⁴:

- zachowanie przestrzeni niezabudowanych, w tym klinów nawietrzających – łagodzi to nagrzewanie się przestrzeni miejskiej i ułatwia wymianę powietrza,
- zachowanie i wprowadzanie zieleni, zwłaszcza wysokiej – lokalnie obniża to temperaturę przez zacienienie i parowanie wilgoci retencjonowanej w roślinach i glebie,
- rozwój zadrzewień przyulicznych – naturalne zacienienie chodników i dróg,
- zwiększenie zacienienia placów, skwerów, boisk, placów zabaw itp. – analogicznie jak powyższe
- parki, ogródki, zielone dachy, zielone ściany – tam, gdzie nie da się zasadzić wysokich drzew, zapewniają zbliżony efekt zacienienia i parowania
- układ budynków nie odgradzający osiedli od terenów zielonych – umożliwia oddziaływanie bryzy znad parku na wnętrze osiedla,
- stosowanie materiałów i powierzchni o wyższym albedo (ściany i dachy) – jeżeli niemożliwe jest zacienienie, również pozwala ograniczyć absorpcję promieniowania.

¹³ Źródło grafiki - [Learn About Heat Islands | US EPA](#)

¹⁴ [MWC w Warszawie wg PAN - informator](#)

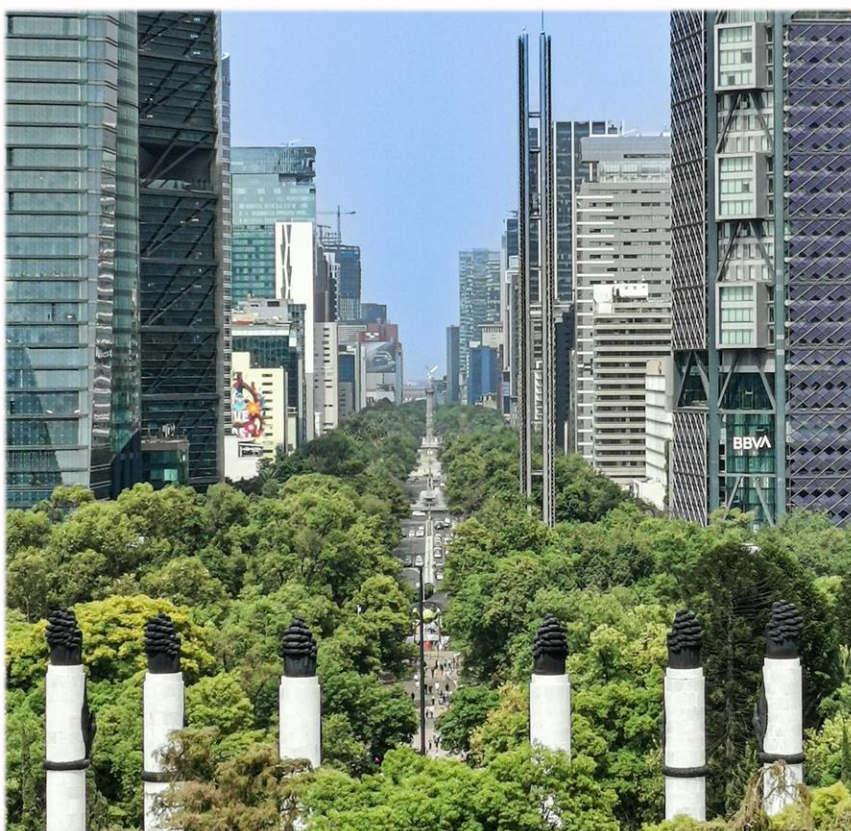
Metodyka – modelowanie MWC

Najprostszym sposobem na zbadanie intensywności MWC są zwykłe obserwacje meteorologiczne. Wymaga to porównania jednoczesnych pomiarów temperatury w wybranym miejscu w mieście i poza jego obrębem, wynik podaje się jako różnicę obu wartości w °C. Wyniki są zmienne w zależności np. od pory dnia, roku i pogody, co stwarza potrzebę zebrania o wiele większej ilości danych, niż jednorazowy pomiar. W ten sposób oceniamy mikroklimat danego obszaru miasta w jego stanie faktycznym. Ale czy da się przewidzieć efekt MWC z góry?

Badacze zjawiska stworzyli różne modele, których celem jest oszacowanie intensywności MWC w zależności od charakterystyki danego miasta. Wstępne, proste modele opierały się na danych dot. populacji miasta oraz rodzaju zabudowy w analizowanym miejscu¹⁵. Na podstawie tych wzorów można np. oszacować intensywność średnią MWC w Warszawskich parkach miejskich (populację Warszawy przyjęto tutaj jako równą 1,8 mln osób):

$$MWC = 0,3201 * \ln(1\,800) - 0,8732 \approx 1,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Uważne czytelniczki i czytelnicy zapewne zwrócili uwagę, że takie proste podejście pozostawia wiele wątpliwości, w kontekście przedstawionego w Przewodniku opisu MWC. Dla naszego zadania konkursowego musimy mieć sposób, by ocenić **konkretny obszar**, (np. wybrany kwartał miasta, osiedle itp.) uwzględniając możliwie **pełną listę czynników** wpływających na MWC. Na szczęście, jeden z najnowszych modeli daje nam taką możliwość!



Ilustracja 5. Aleja Paseo de la Reforma w Meksyku¹⁶ - przykład zazielenionej alei

¹⁵ Strona 19 w [MWC w Warszawie wg PAN - informator](#)

¹⁶ Źródło ilustracji – [Pexels | Carlitos Caligari](#)

W artykule¹⁷ z 2020 roku Sangiorgio i inni przedstawiają sposób na zrobienie dokładnie takiej analizy. Poniżej przedstawiono w kolejnych krokach ich **metodę na oszacowanie wskaźnika „maximum UHI intensity”, tj. maksymalnej intensywności MWC** (UHI – ang. *Urban Heat Island*):

- I. **Wybierz obszar** miejski, który ma podlegać analizie. Najlepiej, żeby był w skali dużego osiedla, ew. małej dzielnicy miejskiej.
- II. **Dokonaj analizy** wybranego obszaru z punktu widzenia kolejnych czynników jak niżej:
 1. odsetek bezwietrznych dni latem wyrażony w [%]
 2. średnia z maksymalnej dziennej temperatury latem [°C]
 3. średnia zmienność temperatury latem [°C]
 4. odsetek bezchmurnych dni latem [%]
 5. uśrednione albedo powierzchni, wyrażone bezwymiarowo jako ułamek między 0 a 1 [-]
 6. udział zieleni w pokryciu terenu [%]
 7. gęstość zaludnienia w osobach na km² [os./km²]
 8. wysokość zabudowań [m]
 9. szerokość ulic [m]
 10. orientacja geograficzna kanionów miejskich (ulic) [N/W/E/S]
 11. nieregularność siatki miejskiej
- III. **Odczytaj odpowiednie współczynniki** liczbowe, odpowiadające czynnikom przeanalizowanym w punkcie II – z tabeli 1.
- IV. **Podstaw wspomniane współczynniki do wzoru** (podany dalej), odczytaj wynik będący oszacowaniem maksymalnej intensywności MWC w °C.
- V. **Gotowe!**

Korzystając z opisanego modelu można analizować nie tylko istniejący łąd przestrzenny, ale również różne warianty jego przebudowy! Dzięki temu planiści mają narzędzie, pomagające im projektować miasta w taki sposób, by minimalizować Miejską Wyspę Ciepłą.

Wśród 11 czynników wymienionych powyżej, cztery są danymi meteorologicznymi (od 1 do 4, na te nie mamy wpływu), pozostałe wynikają z rodzaju i geometrii zabudowy, sposobu użytkowania miasta itp. (od 5 do 11).

Odsetek bezwietrznych dni latem – dane meteorologiczne zbiera i opracowuje w Polsce Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej¹⁸. Dostęp do części z tych danych jest otwarty i można je samodzielnie opracować (przykład w dalszej części Przewodnika), można też poszukać gotowych opracowań IMGW (choć skala naszego zadania utrudnia to w praktyce).

Średnia z maksymalnej dziennej temperatury latem – jw.

Średnia zmienność temperatury latem – jw.

¹⁷ Artykuł: [Development of a holistic urban heat island evaluation methodology](#)

¹⁸ [Dane publiczne IMGW](#)

Odsetek bezchmurnych dni latem -jw.

Albedo – obszary miejskie są bardzo zróżnicowane pod względem rodzaju powierzchni. Należy więc wykonać przybliżone zestawienie rodzajów powierzchni wraz z ich udziałem w całkowitej analizowanej powierzchni oraz ich albedo. Pomocne narzędzia to zdjęcia lotnicze (np. aplikacja Google Earth¹⁹, strona Geoportal²⁰) oraz wizja lokalna. Wartości albedo dla najczęściej stosowanych materiałów przedstawiono w tabelach w załączniku 2. Barwy ciemniejsze na zdjęciach lotniczych należy generalnie utożsamiać z niższym albedo. Barwy jaśniejsze zwykle cechuje wyższe albedo, chyba że są zabrudzone lub zapyłone, co obniża jego wartość. Należy wyznaczyć albedo dla całego obszaru postępując się średnią ważoną (według udziału procentowego powierzchni).

Udział zieleni – zestawienie powierzchni powinno zawierać również taką informację.

Gęstość zaludnienia – dostępne są dane GUS pochodzące ze spisu powszechnego z 2021 roku. Można je np. obejrzeć w postaci mapy z podziałem na kwadraty o boku 1 km². Przykładowo, miasto Stoleczne Warszawa prowadzi też własny geoportal, gdzie dostępne są dane również z innych lat i w większej rozdzielczości²².

Parametr ten można również oszacować samodzielnie, na podstawie liczby i wielkości lokali mieszkalnych, przyjmując przybliżoną uśrednioną liczbę osób w każdym z nich.

Wysokość zabudowań – oszacowana na podstawie liczby kondygnacji i ogólnej geometrii budynków. Dotyczy dominujących kanionów (zwykle najwyższych i/lub najliczniejszych typów budynków), które mają najsilniejszy wpływ na ruch powietrza i zacienienie.

Szerokość ulic – przybliżona uśredniona szerokość ulic tworzących dominujące kaniony miejskie. Szerokość ulicy rozumiemy nie jako szerokość jezdni, ale jako odległość między równoległymi budynkami. Można zmierzyć bezpośrednio lub np. odczytać korzystając z narzędzia Linijka w aplikacji Google Earth.

Orientacja geograficzna ulic (kanionów miejskich) – szukamy dominującego kierunku przebiegu ulic, które stanowią najgłębsze kaniony – dane satelitarne/mapy.

Nieregularność siatki miejskiej – odpowiada na pytanie, czy przebieg kanionów (ulic) jest głównie równoległy, czy są one ułożone pod różnymi kątami i mają różną geometrię. Ponownie korzystamy z danych satelitarnych, ortofotomap itp.

Po ukończeniu dobrego rozpoznania analizowanego obszaru możliwe jest przypisanie miar liczbowych do każdego kryterium, zgodnie z tabelą 1. Następnie po podstawieniu tych współczynników do poniższego wzoru uzyskuje się wartość indeksu UHI (MWC), czyli przybliżoną wartość maksymalnej intensywności MWC w danej lokalizacji.

¹⁹ [Darmowa aplikacja Google Earth](#)

²⁰ [Portal mapowy - Geoportal](#)

²¹ [Dane GUS o zaludnieniu - mapa](#)

²² [Portal mapowy m. st. Warszawy](#)

Wzór opisujący indeks UHI – wskaźnik intensywności Miejskiej Wyspy Ciepła według przytaczanego artykułu²³ jest następujący:

$$I_{MWC} = v_1 \cdot w_1 + v_2 \cdot w_2 + v_3 \cdot w_3 + v_4 \cdot w_4 + v_5 \cdot w_5 + v_6 \cdot w_6 + v_7 \cdot w_7 + v_8 \cdot w_8 + v_9 \cdot w_9 + v_{10} \cdot w_{10} + v_{11} \cdot w_{11} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Współczynniki ‘v’ w powyższym wzorze są przypisane kolejnym jedenastu czynnikom decydującym o MWC, podanymi wcześniej. Są one stałe, ich wartości podano w czwartej kolumnie tabeli 1. Z kolei współczynniki ‘w’ są zmienne, zależne od charakterystyki wybranego do analizy obszaru. Należy im przypisać odpowiednie wartości na podstawie wyników analizy, zgodnie z kolumnami 5, 6 i 7 tabeli 1.

Wynikiem obliczeń jest wskaźnik MWC (indeks UHI), który w przybliżeniu określa maksymalną intensywność MWC w danym obszarze latem (czyli przy warunkach możliwie sprzyjających powstawaniu tego zjawiska). Prostota tego narzędzia pozwala łatwo sprawdzić, które czynniki najsilniej wpływają na MWC w wybranym miejscu, a także oszacować skuteczność różnych wariantów rozwiązania problemu. Czasem różnicę zrobią nasadzenia roślin, innym razem zmiana powierzchni, a może wymagana będzie twarda ingerencja w zabudowę? – nie ma jednej odpowiedzi! Przykładowe obliczenia przedstawiono w Załączniku 1 do Przewodnika.

Post Scriptum

Możliwe rozwiązania problemu Miejskiej Wyspy Ciepła, wspomniane w Przewodniku, nie pozostają bez wpływu na inne aspekty funkcjonowania organizmu miejskiego. Z jednej strony należy uważać, by rozwiązując jeden problem nie stworzyć przy okazji w naszym mieście nowych poważnych dysfunkcji. Z drugiej strony, wiele z tych rozwiązań może okazać się korzystne z innych powodów, niekoniecznie związanych z samą MWC. Dobrym przykładem jest zieleń miejska, której wieloaspektowy, korzystny wpływ jest podkreślany w wielu analizach²⁴. Kolejny przykład – zmiana nawierzchni – pozwala przeciwdziałać problemowi powodzi błyskawicznych, o ile dążymy do jej wysokiej przepuszczalności. Łąki kwietne to jeszcze jeden przykład, o którym można poczytać m.in. tutaj²⁵. Chociaż zadanie jest zasadniczo zbudowane wokół problemu MWC, to zachęcamy do poświęcenia uwagi również innym efektom wynikającym z proponowanych zmian!

Ciekawe, z życia wzięte [przykłady aranżacji osiedli miejskich](#) służące poprawie ich klimatu zostały zebrane i opisane w ramach projektu:

CoAdapt - Działania społeczności lokalnych na rzecz adaptacji do zmiany klimatu

W ramach tego projektu powstała też [gra komputerowa](#) i planszowa, w której można przeprojektować własne osiedle 😊

Zachęcamy do odwiedzenia projektu i czerpania inspiracji!

²³ Artykuł: [Development of a holistic urban heat island evaluation methodology](#)

²⁴ Źródła: [1], [2]

²⁵ <https://lakikwietne.pl>

Tabela 1. Zestawienie współczynników v i w do obliczeń wskaźnika intensywności MWC zgodnie z pracą Sangiorgio i in. z 2020 roku.

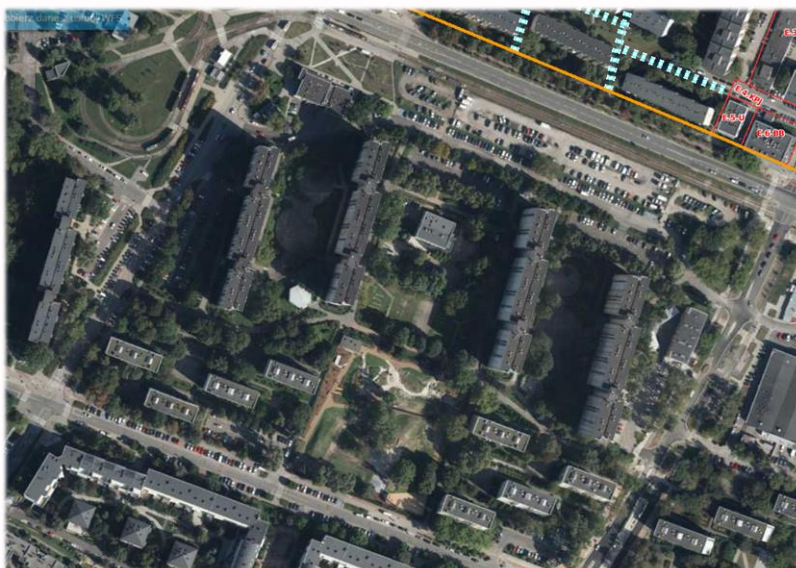
| Grupy czynników | Czynnik | Współczynnik v_i | | Przedziały | Współczynnik w_i | |
|----------------------------------|--|--------------------|-------------|-------------|--------------------|------|
| Charakterystyka meteorologiczna | Dni bezwietrzne | v_1 | 0.21 | Ponad 15% | w_1 | 1.00 |
| | | | | 10% -15% | | 0.71 |
| | | | | 5% - 10% | | 0.43 |
| | | | | 1% - 5% | | 0.14 |
| | | | | Poniżej 1% | | 0.03 |
| | Średnia temperatura maksymalna latem | v_2 | 0.10 | Ponad 30°C | w_2 | 1 |
| | | | | 28°C - 30°C | | 0.85 |
| | | | | 26°C - 28°C | | 0.7 |
| | | | | 24°C - 26°C | | 0.55 |
| | | | | 22°C - 24°C | | 0.4 |
| | Poniżej 22°C | 0.25 | | | | |
| | Średnia zmienność dobową temperatury latem | v_3 | 0.10 | Ponad 16°C | w_3 | 1 |
| | | | | 14°C - 16°C | | 0.85 |
| | | | | 12°C - 14°C | | 0.7 |
| | | | | 10°C -12°C | | 0.55 |
| 8°C - 10°C | | | | 0.4 | | |
| Poniżej 8°C | 0.25 | | | | | |
| Dni bezchmurne | v_4 | 0.33 | Ponad 70% | w_4 | 1.00 | |
| | | | 60% -70% | | 0.87 | |
| | | | 50% -60% | | 0.73 | |
| | | | 40% -50% | | 0.60 | |
| | | | 30% -40% | | 0.47 | |
| | | | 20% -30% | | 0.33 | |
| | | | 10% -20% | | 0.20 | |
| | | | Poniżej 10% | | 0.07 | |
| Pokrycie terenu (albedo) | v_5 | 3.47 | 0.10 - 0.12 | w_5 | 1 | |
| | | | 0.12 - 0.14 | | 0.85 | |
| | | | 0.14 - 0.16 | | 0.73 | |
| | | | 0.16 - 0.18 | | 0.65 | |
| | | | 0.18 - 0.20 | | 0.58 | |
| | | | 0.20 - 0.22 | | 0.52 | |
| | | | 0.22 - 0.24 | | 0.48 | |
| | | | 0.24 - 0.26 | | 0.44 | |
| | | | 0.26 - 0.28 | | 0.41 | |
| | | | 0.28 - 0.30 | | 0.38 | |
| Udział zieleni w pokryciu terenu | v_6 | 2.62 | Poniżej 5% | w_6 | 1 | |
| | | | 5 - 10% | | 0.9 | |
| | | | 10 - 15% | | 0.8 | |
| | | | 15 - 20% | | 0.7 | |
| | | | 20 - 25% | | 0.6 | |
| | | | 25 - 30% | | 0.5 | |

| | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------|------|----------------------------------|-----------------|------|
| | | | | 30 - 35% | | 0.4 |
| | | | | 35 - 40% | | 0.3 |
| | | | | 40 - 45% | | 0.2 |
| | | | | Ponad 45% | | 0.1 |
| Ciepło związane z aktywnością ludzi | Gęstość zaludnienia | v ₇ | 0.75 | Ponad 20,000 os/km ² | w ₇ | 1 |
| | | | | 18,000-20,000 os/km ² | | 0.91 |
| | | | | 16,000-18,000 os/km ² | | 0.82 |
| | | | | 14,000-16,000 os/km ² | | 0.73 |
| | | | | 12,000-14,000 os/km ² | | 0.64 |
| | | | | 10,000-12,000 os/km ² | | 0.55 |
| | | | | 8,000-10,000 os/km ² | | 0.46 |
| | | | | 6,000-8,000 os/km ² | | 0.36 |
| | | | | 4,000-6,000 os/km ² | | 0.26 |
| | | | | 2,000-4,000 os/km ² | | 0.15 |
| | | | | Poniżej 2,000 os/km ² | | 0.07 |
| Geometria ulic - miejskich kanionów | Wysokość budynków | v ₈ | 0.99 | Ponad 20m | w ₈ | 1 |
| | | | | 15 - 20 m | | 0.5 |
| | | | | 10 - 15 m | | 0.38 |
| | | | | 5 - 10 m | | 0.25 |
| | | | | Poniżej 5m | | 0.13 |
| | Szerokość ulic | v ₉ | 1.99 | Poniżej 2m | w ₉ | 1 |
| | | | | 2 - 3 m | | 0.85 |
| | | | | 3 - 4 m | | 0.69 |
| | | | | 4 - 5 m | | 0.54 |
| | | | | Ponad 5 m | | 0.23 |
| | Orientacja ulic | v ₁₀ | 1.01 | Południowa S | w ₁₀ | 1 |
| | | | | Połudn.-zachodnia S-W | | 0.33 |
| | | | | Połudn.-wschodnia S-E | | 0.33 |
| | | | | Wschodnia E | | 0.11 |
| | Nieregularność siatki ulic | v ₁₁ | 0.61 | Nieregularny układ | w ₁₁ | 1 |
| Układ mieszany (pośredni) | | | | 0.5 | | |
| Regularny układ | | | | 0.11 | | |

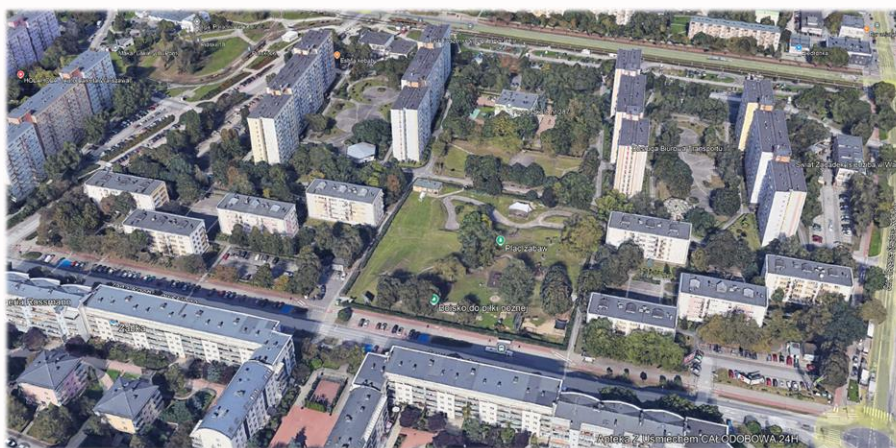
Załącznik 1 – Studium przypadku – osiedle Piaski, Warszawa

Poniższa analiza służy jako przykład zastosowania modelu obliczeniowego MWC, w tym przypadku do oszacowania intensywności zjawiska na terenie Warszawskiego osiedla Piaski, w kwadracie ulic Kochanowskiego-Rudnickiego-Broniewskiego-Galla Anonima. Jest to teren nie położony w ścisłym centrum, ze względnie luźną (choć wysoką) zabudową oraz dużym udziałem wysokiej zieleni – patrz: ilustracje poniżej.

Wybór lokalizacji



Ilustracja 6. Fragment osiedla Piaski w Warszawie. Źródło: geoportal.gov.pl



Ilustracja 7. To samo osiedle w widoku 3D. Źródło: aplikacja Google Earth Pro

Dane meteorologiczne (odsetek bezwietrznych dni latem, średnia z maksymalnej dziennej temperatury latem, średnia zmienność temperatury latem, odsetek bezchmurnych dni latem) – wszystkie te dane pozyskano z danych publicznych (dane pomiarowo-observacyjne) [Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej](#). Dane meteorologiczne -> Dobowe -> Klimat -> 2022 (w tym przypadku był to najnowszy dostępny rok z pełnymi danymi) -> 2022_07_k i 2022_08_k. Dane są zapisane w plikach .csv, i są to pełne dane dobowe dla wybranego miesiąca i wszystkich stacji meteo w Polsce. Warto skorzystać z funkcji Pobierz dane -> Z pliku -> z Folderu -> Łączenie i przekształcanie danych (w programie Excel). W ten sposób można przekształcić dane do postaci

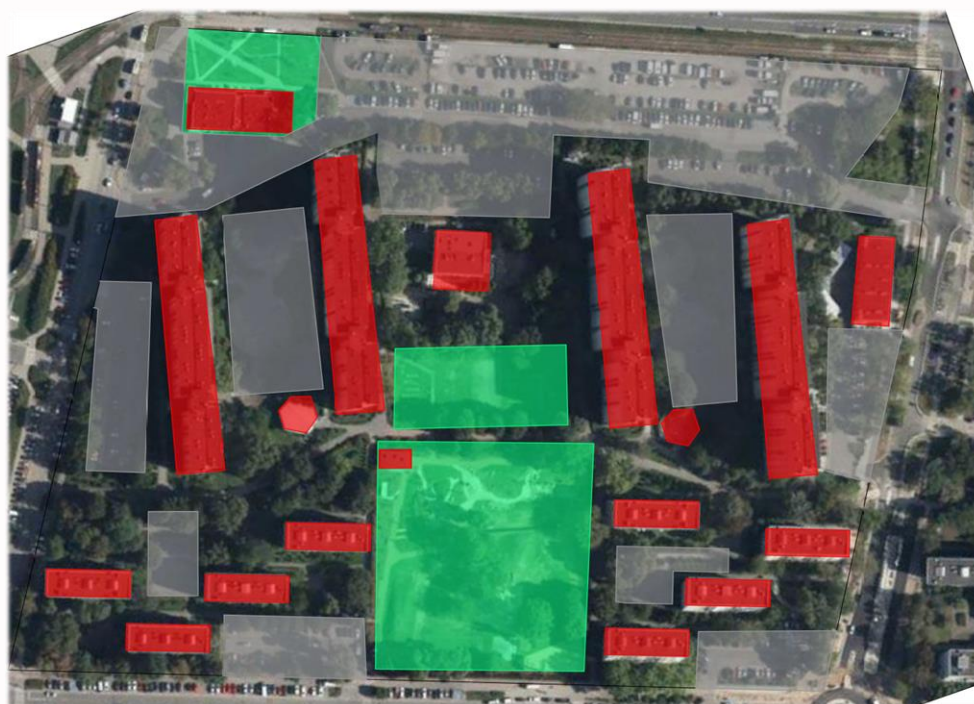
tabelarycznej oraz odfiltrować po nazwie tylko tę jedną stację pomiarową, która nas interesuje (jest najbliższej analizowanego obszaru – w naszym przypadku to Warszawa-Bielany). Są dwa rodzaje plików danych – „k_d...” oraz „k_d_t...”, instrukcje jak odczytywać te pliki (czyli co zawierają kolejne kolumny tabeli) znajdziesz na stronach: [k_d_instrukcje](#) oraz [k_d_t_instrukcje](#).

Z plików „k_d...” odczytamy temperatury maksymalne i minimalne każdego dnia. Z plików „k_d_t...” interesuje nas średnia dobowa prędkość wiatru oraz średnie dobowe zachmurzenie. Dane trzeba jeszcze nieco obrobić statystycznie, tzn. poszukać odpowiednich średnich i odsetków dni z całego analizowanego okresu. Średnią zmienność temperatury (czynnik nr 3) należy rozumieć jako średnią z różnicy $T_{\max} - T_{\min}$ dla każdego dnia. Bezwietrzne dni (czynnik nr 1) przyjęto tutaj jako każdy dzień ze średnią prędkością wiatru = 0 m/s. Odsetek bezchmurnych dni latem (czynnik nr 4) – tutaj uwzględniono te dni, dla których średnie dobowe zachmurzenie wynosiło nie więcej niż 1.0 oktant (granica dyskusyjna). Wartości uzyskane na podstawie opisanej analizy dla naszego obszaru zamieszczono w zbiorczej tabeli 3.

W tym przypadku pobrano dane tylko z lipca i sierpnia 2022 roku. Jest to więc podejście uproszczone, uwzględniające tylko 2 miesiące letnie z jednego wybranego roku. Dla uzyskania większej wiarygodności zachęcamy do uwzględnienia większej ilości danych z całych sezonów letnich z wielu lat (z portalu IMGW), ewentualnie pozyskania takich danych z innych źródeł.

Uwaga – na czynniki meteo nie mamy wpływu, więc z punktu widzenia wyboru sposobu rozwiązania problemu MWC nie są one kluczowe.

Albedo



Ilustracja 8. Obrys analizowanego obszaru wraz z przybliżonym oznaczeniem powierzchni zajmowanych przez budynki (czerwone), nawierzchnie asfaltowe (szare), zieleń niską (zielony) oraz zieleń wysoką (pozostałe)

Udział zieleni

Z tabeli 2. wynika wartość: $13.9 + 38.2 = 52.1\%$

Tabela 2. Zestawienie rodzajów powierzchni oraz obliczenia średniego albedo

| Rodzaj nawierzchni | Pole pow. [m ²] | Udział procentowy [%] | Albedo [-] |
|--|-----------------------------|-----------------------|-------------|
| Drogi, chodniki, parkingi - asfalt (stary) | 33779 | 32.9 | 0.20 |
| Budynki - papa (stara) | 15401 | 15.0 | 0.10 |
| Zieleń niska - trawa, łąki | 14271 | 13.9 | 0.25 |
| Zieleń wysoka - drzewa liściaste | 39221 | 38.2 | 0.2 |
| Łącznie | 102672 | 100.0 | - |
| | | Średnia ważona | 0.19 |

Gęstość zaludnienia

Z danych GUS²⁶ wynika gęstość zaludnienia analizowanego obszaru ponad 10 000 os./km² w 2021 roku, z danych lokalnego portalu mapowego Warszawy²⁷ - wartość rzędu 17 000 os./km². Rozbieżność wynika z różnicy w rozdzielczości opracowań, która jest wyższa dla tego drugiego źródła. Do analizy przyjęto więc wartość 17 000 os./km².



Ilustracja 9. Zrzut ekranu – gęstość zaludnienia w 2021 na analizowanym obszarze

Wysokość zabudowań

W analizowanym przypadku występują dwa rodzaje bloków mieszkalnych o różnych wysokościach. Do analizy wybrano te wyższe, o dominującym udziale w terenie i decydującym wpływie na ruch powietrza i miejskie kaniony – 33 m.

Szerokość ulic – przybliżona uśredniona szerokość ulic tworzących dominujące kaniony, czyli odległość między blokami przebiegającymi równolegle – średnia równa 67 m.

Orientacja geograficzna ulic (kanionów miejskich) – kierunek dominujących kanionów niemal odpowiada N-S. Są one równoległe.

Nieregularność siatki miejskiej – przebieg dominujących, najwyższych kanionów regularny, jednak przetamany prostopadłymi kanionami mniejszymi – przyjęto mieszany (pośredni) układ.

²⁶ [Mapa GUS](#)

²⁷ [Mapa dla Warszawy](#)

Tabela 3. Zestawienie wyników analizy wybranego obszaru z przypisaniem wartości współczynników do dalszych obliczeń indeksu UHI

| | Dane publiczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej | | | | Zdjęcia lotnicze, Google Earth, Geoportal.gov.pl | | Geoportal warszawski | Wizja lokalna, mapy, zdjęcia lotnicze, Google Earth, Geoportal.gov.pl | | | |
|----------------------------|---|--------------------------|------------------------------|--------------------|--|--------------------------------------|--|---|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Dni bezwietrzne [%] | Średnia temp. maks. [°C] | Średnia zmienność temp. [°C] | Dni bezchmurne [%] | Pokrycie terenu - albedo uśrednione [-] | Udział zieleni w pokryciu terenu [%] | Gęstość zaludnienia [os./km ²] | Wysokość budynków [m] | Szerokość ulic (kanionów miejskich) [m] | Orientacja ulic (kanionów miejskich) | Poziom regularności siatki miejskiej |
| Osiedle Piaski w Warszawie | 4.8 | 26.7 | 11.1 | 8 | 0.19 | 52.1 | 17000 | 33 | 67 | S | średni (mieszany) |
| Współczynniki w | 0.14 | 0.7 | 0.55 | 0.07 | 0.58 | 0.1 | 0.82 | 1 | 0.23 | 1 | 0.5 |

Powyższa analiza umożliwia podstawienie do wzoru i obliczenie intensywności MWC na analizowanym terenie:

$$I_{MWC} = 0,21 * 0,14 + 0,10 * 0,7 + 0,10 * 0,55 + 0,33 * 0,07 + 3,47 * 0,58 + 2,62 * 0,1 + 0,75 * 0,82 + 0,99 * 1 + 1,99 * 0,23 + 1,01 * 1 + 0,61 * 0,5$$

$$I_{MWC} = 5,62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Na podstawie indeksu MWC oszacowano maksymalną intensywność MWC na 5,62 °C.

Zagadka: na podstawie powyższych obliczeń, które z 11 czynników najsilniej „napędzają” MWC w tym przypadku?

Załącznik 2 – wartości albedo najczęściej stosowanych materiałów

Poniżej zestawiono dwie tabele, mogące pomóc przy ustaleniu albedo nawierzchni w mieście.

Źródło danych - <https://edepot.wur.nl/171621>

| Materiał | Albedo | Materiał | Albedo | |
|--------------------------------|---------------|-----------------|-------------------------------|------------|
| Asfalt | 0.05-0.20 | Ulice | Asfalt - od nowego do starego | 0.05 - 0.2 |
| Beton | 0.30 | | Beton | 0.10-0.35 |
| Cegła czerwona | 0.30 | Ściany | Cegła | 0.20-0.40 |
| Drewno (nowe) | 0.40 | | Biały czysty kamień | 0.8 |
| Biały papier | 0.75 | | Biały żwir wapienny | 0.55 |
| Papa asfaltowa | 0.05 | | Jasna cegła | 0.30-0.50 |
| Biały tynk | 0.93 | | Czerwona cegła | 0.20-0.30 |
| Jasna stal ocynkowana | 0.35 | Ciemna cegła | 0.20 | |
| Jasne aluminium | 0.85 | Wapień | 0.30-0.45 | |
| Biały pigment | 0.85 | Gładki asfalt | 0.07 | |
| Szary pigment | 0.03 | Papa asfaltowa | 0.10-0.25 | |
| Zielony pigment | 0.73 | Smoła i żwir | 0.08-0.18 | |
| Biała farba na aluminium | 0.80 | Dachy | Dachówka | 0.10-0.35 |
| Czarna farba na aluminium | 0.04 | | Łupek dachowy | 0.10 |
| Żwir | 0.72 | | Słoma | 0.15-0.20 |
| Piasek | 0.24 | Farby | Blacha falista | 0.10-0.16 |
| Trawa - od długiej do krótkiej | 0.16-0.26 | | Powłoka refleksyjna | 0.60-0.70 |
| Grunt - od mokrego do suchego | 0.05-0.40 | | Biała | 0.50-0.90 |
| Obszary miejskie | 0.10-0.27 | | Czerwona, brązowa, zielona | 0.20-0.35 |
| | | | Czarna | 0.02-0.15 |
| | | | Barwiony piasek | 0.40-0.60 |
| | | | Sucha trawa | 0.30 |
| | | | Grunt (średnio) | 0.30 |
| | | | Suchy piasek | 0.20-0.30 |
| | | | Rośliny liściaste | 0.20-0.30 |
| | | Las liściasty | 0.15-0.20 | |
| | | Grunt rolny | 0.20 | |
| | | Mokry piasek | 0.10-0.20 | |
| | | Las iglasty | 0.10-0.15 | |
| | | Drewno (dębowe) | 0.10 | |