

Jak ograniczyć miejską wyspę ciepła? Analiza polskich miast przy użyciu ArcGIS Pro

Zjawisko miejskiej wyspy ciepła jest jednym z najbardziej odczuwalnych skutków postępującej urbanizacji. Charakteryzuje się wyższymi temperaturami na obszarach miejskich w stosunku do otaczających ich terenów podmiejskich. Choć zjawisko to jest powszechnie obserwowane i stosunkowo łatwe do zrozumienia, w rzeczywistości stanowi złożony problem wynikający z oddziaływania wielu czynników. Zrozumienie, w jaki sposób zabudowa oraz tereny zielone wpływają na jego intensywność, jest kluczowe dla mądrego planowania przestrzennego i poprawy komfortu życia. W tym artykule przyjrzymy się bliżej, jak struktura zabudowy i miejska zieleń kształtują temperaturę w polskich miastach wojewódzkich wykorzystując ArcGIS Pro.

Dlaczego polskie miasta wojewódzkie?

Choć zjawisko miejskiej wyspy ciepła jest szeroko analizowane – zarówno w Polsce, jak i na świecie – większość badań koncentruje się na pojedynczych miastach. Często skupiają się one na jednym wybranym czynniku lub wykorzystują złożone modele statystyczne. W tym artykule przyjęto inne podejście. Zastosowano relatywnie prosty model statystyczny, który pozwolił zbadać zjawisko we wszystkich miastach wojewódzkich w Polsce. Dzięki temu możliwe było bezpośrednie porównanie wyników i identyfikacja wspólnych zależności.

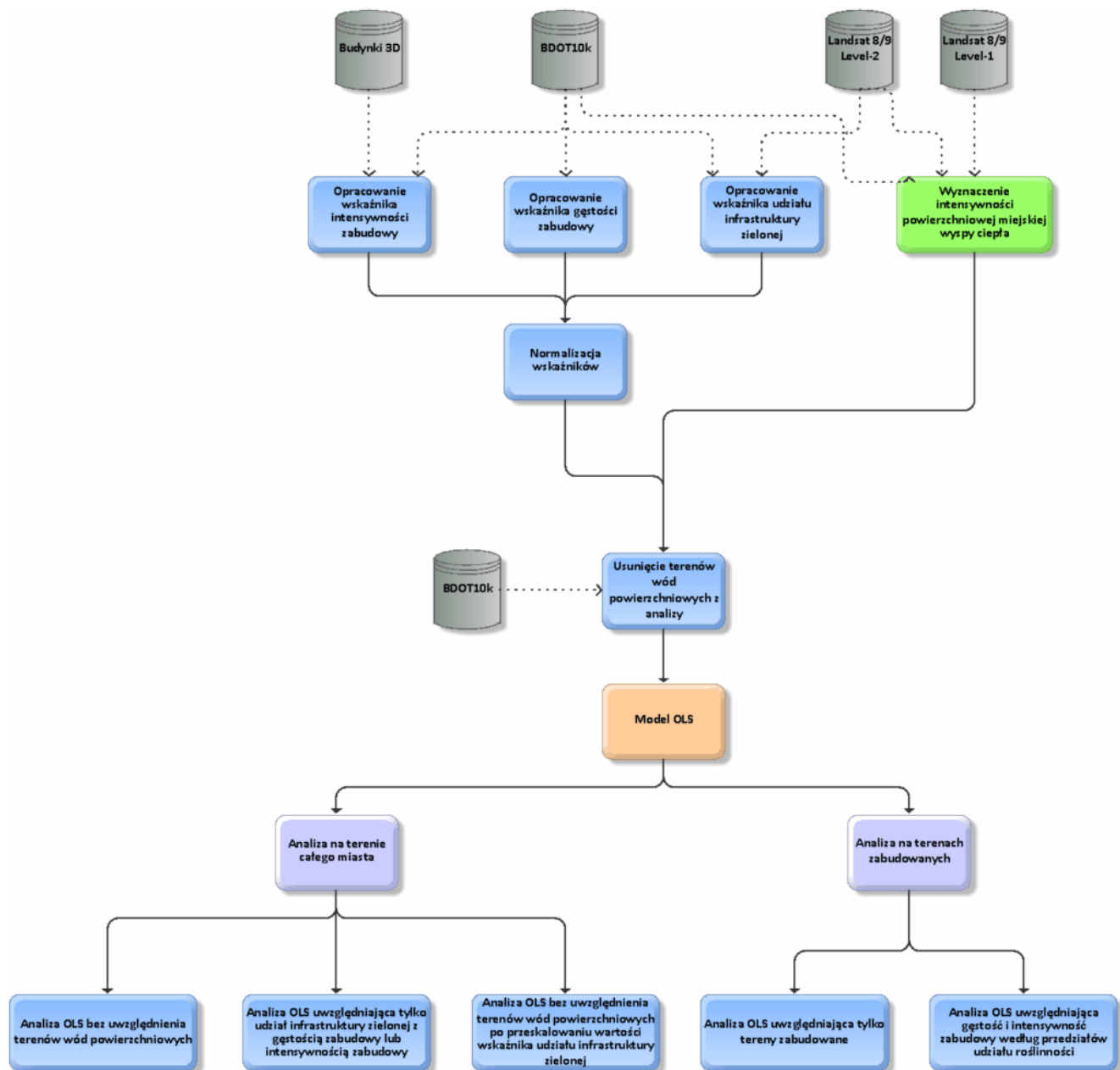
Polskie miasta wojewódzkie stanowią ciekawy obiekt badań, ponieważ różnią się one przede wszystkim pod względem:

- zagospodarowania przestrzennego,
- uwarunkowań geograficznych,
- warunków meteorologicznych i klimatycznych.

Jednocześnie wszystkie te miasta pełnią funkcję kluczowych ośrodków społeczno-gospodarczych, co wiąże się z dużą dynamiką demograficzną. Rosnąca liczba mieszkańców generuje zapotrzebowanie na nowe inwestycje i infrastrukturę, co często odbywa się kosztem terenów zielonych. Dlatego analiza obejmująca wiele miast nie tylko poszerza perspektywę badawczą, ale przede wszystkim pozwala lepiej zrozumieć, jak różne sposoby zarządzania przestrzenią wpływają na klimat miejski.

ArcGIS Pro jako narzędzie do badania miejskiej wyspy ciepła

Choć mieszkańcy dużych miast odczuwają skutki UHI na własnej skórze, analiza tego zjawiska wymaga zaawansowanych narzędzi. Badanie oparto na analizie zależności pomiędzy wybranymi wskaźnikami urbanistycznymi a intensywnością jednego z typów miejskiej wyspy ciepła – **powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (SUHI)**. Wybór tego podejścia wynika bezpośrednio z wykorzystania danych satelitarnych, które umożliwiają wyznaczenie temperatury różnych typów powierzchni i ich przestrzennego zróżnicowania.



Rys. 1. Schemat metodyki badań

Wyznaczanie wskaźników urbanistycznych i intensywności SUHI

W omawianych badaniach oparto się na trzech kluczowych wskaźnikach urbanistycznych:

- **gęstości zabudowy**, czyli powierzchni zajmowanej przez budynki w stosunku do powierzchni terenu,
- **intensywności zabudowy** rozszerzającej gęstość zabudowy o

- współczynnik wysokości zabudowy,
- **udziale infrastruktury zielonej**, czyli odsetku terenów zielonych na danym obszarze.

Obliczenie każdego z nich wymagało zróżnicowanych danych źródłowych oraz indywidualnego podejścia. Środowisko ArcGIS Pro pozwoliło na optymalne wykorzystanie i zintegrowanie zarówno danych wektorowych, jak i rastrowych.

Z kolei intensywność SUHI wyznaczono na podstawie scen satelitarnych pochodzących z misji Landsat 8 oraz Landsat 9. W zależności od poziomu wstępnego przetworzenia danych satelitarnych, proces wyznaczenia temperatury powierzchniowej bywał pracochłonny, jednak narzędzia rastrowe ArcGIS Pro sprawiły, że każdy etap przetwarzania tych informacji przebiegał płynnie.

Aby dane z różnych miast można było ze sobą porównać, ujednolicono je do formy siatki kwadratów o boku 100 metrów. Każde oczko siatki (tzw. grid) otrzymało uśrednione wartości badanych cech, co znacznie ułatwiło dalsze analizy geostatystyczne i tworzenie wizualizacji.

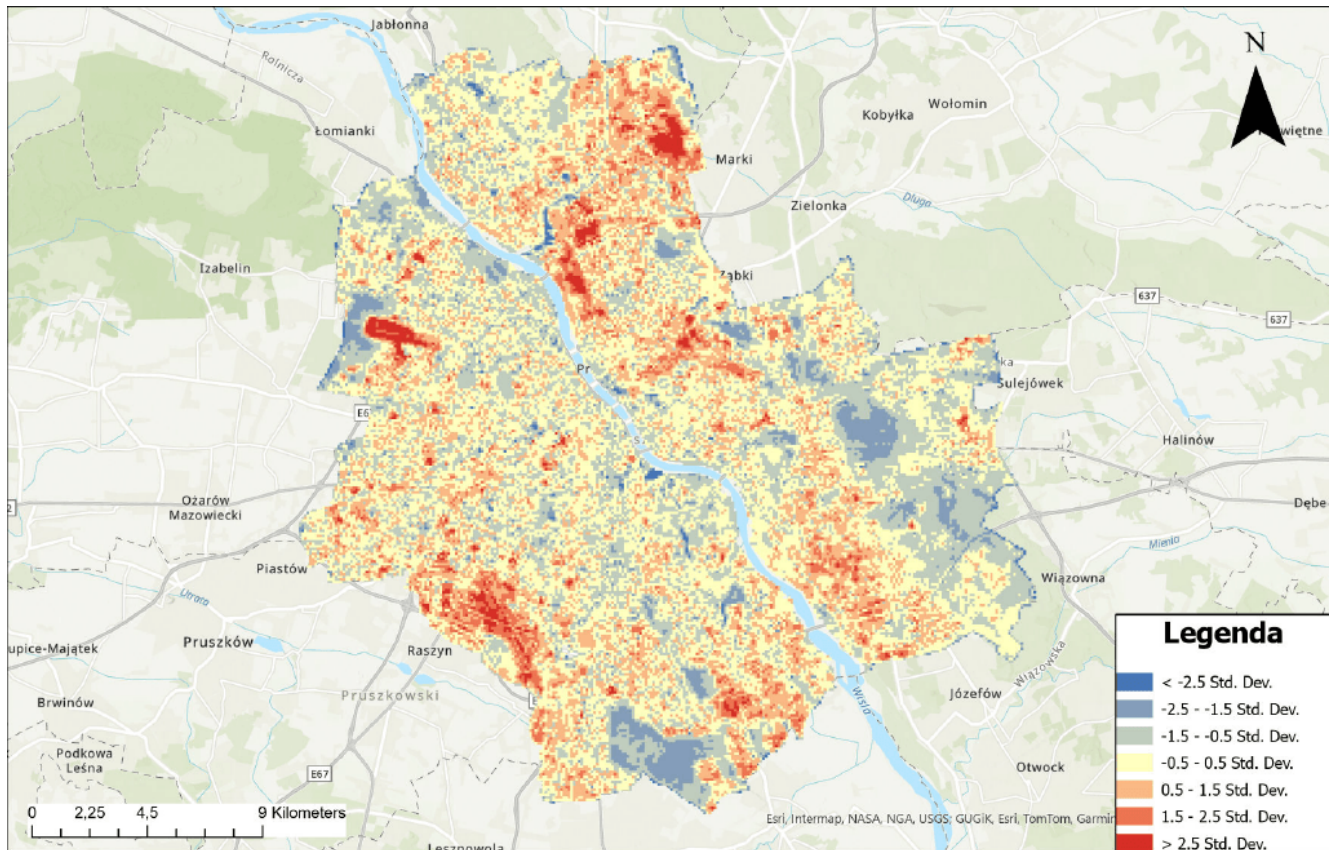
Modelowanie przestrzenne i automatyzacja

W środowisku ArcGIS Pro przeprowadzono analizę z wykorzystaniem modelu regresji liniowej OLS (*Ordinary Least Squares*). Pozwala on zbadać, jak wybrane czynniki (zmienne niezależne) wpływają na wynik (zmienną zależną), a także identyfikuje lokalne wzorce.

W badaniu:

- **zmienną zależną** była intensywność miejskiej wyspy ciepła,
- **zmiennymi niezależnymi** były wskaźniki urbanistyczne.

Wynikiem modelu OLS jest raport analityczny zawierający zarówno wartości współczynników, jak i miary pozwalające ocenić dokładność modelu, a także mapy przedstawiające przestrzenne zróżnicowanie odchyleń.



Rys. 2. Przykładowy rozkład odchylek modelu OLS

Na tej podstawie możliwe było określenie:

- które czynniki mają największy wpływ na intensywność SUHI,
- jak silne są te zależności,
- z którymi obszarami model sobie radzi gorzej.

Ponieważ cały proces badawczy należało przeprowadzić dla 18 miast wojewódzkich, konieczna była automatyzacja pracy. Z pomocą przyszło narzędzie ArcGIS Notebooks, które pozwoliło na stworzenie skryptów wykorzystujących bezpośrednio funkcje ArcGIS Pro.

Dzięki automatyzacji w ArcGIS Notebooks możliwe było:

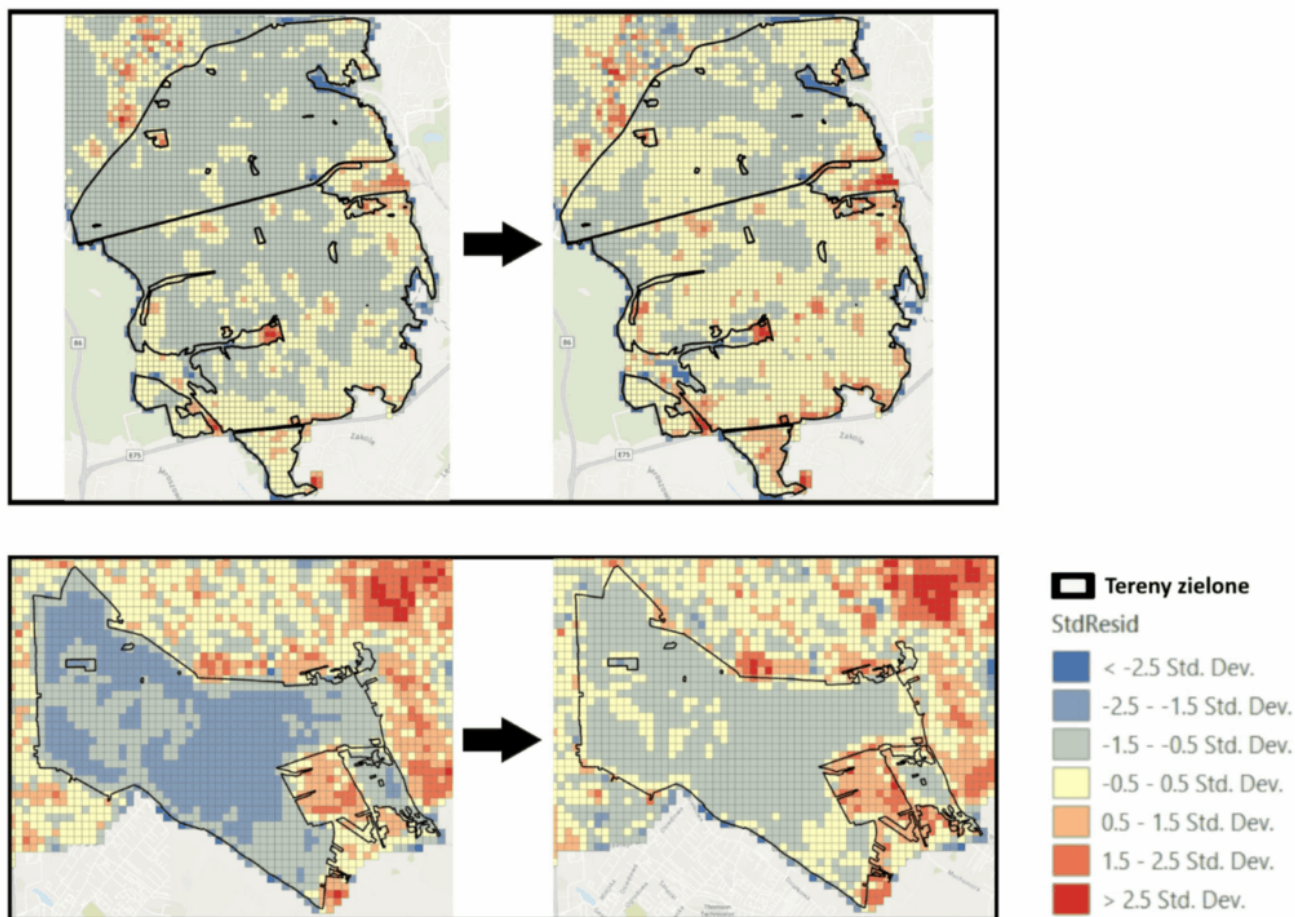
- usprawnienie przygotowania danych,
- ograniczenie błędów manualnych,
- znaczne przyspieszenie całego procesu analizy.

Co wpływa na dokładność modelu?

Najważniejsze wyniki analizy OLS

W pierwszej kolejności należy zaznaczyć, że we wszystkich analizach wykluczono wody powierzchniowe, ponieważ ich obecność zaburzała wyniki i obniżała precyzję modelu w prognozowaniu temperatur na obszarach zurbanizowanych.

Model regresji liniowej OLS uwzględniający wszystkie 3 wskaźniki urbanistyczne pozwolił na wyjaśnienie zjawiska intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła średnio na poziomie około 50% dla wszystkich analizowanych miast. Najlepsze wyniki uzyskano w Katowicach (66%) i Białymstoku (61%). Już na tym etapie zauważono jednak, że największe odchylenia modelu dotyczyły rozległych terenów zielonych. Aby lepiej uchwycić ich rzeczywisty wpływ, wprowadzono korektę wskaźnika udziału infrastruktury zielonej.



Rys. 3. Porównanie wyników z analizy OLS dla dużych terenów zielonych

Efekt był wyraźny – skuteczność modelu wzrosła średnio o 12 punktów procentowych. To potwierdza, że zieleń miejska odgrywa kluczową rolę w regulacji temperatury, a jej dokładne uwzględnienie znacząco poprawia jakość analiz.

Kolejnym krokiem było rozdzielenie konfiguracji wskaźników w modelu na dwa warianty obejmujące po dwie zmienne:

- **Wariant A** – gęstość zabudowy oraz udział terenów zielonych,
- **Wariant B** – intensywność zabudowy oraz udział terenów zielonych.

Celem tego zabiegu było dokładniejsze zbadanie wpływu gęstości i intensywności zabudowy na analizowane zjawisko, ponieważ oba wskaźniki opisują podobne cechy przestrzeni, lecz w odmienny sposób. Uzyskane wyniki wskazują, że:

- **wariant A osiąga wyższą skuteczność predykcyjną niż wariant B,**
- **co więcej, model oparty na wariancie A osiąga niemal identyczną skuteczność jak model uwzględniający wszystkie trzy analizowane wskaźniki.**

W praktyce oznacza to, że intensywność zabudowy przy obecności gęstości zabudowy w modelu ma ograniczony wpływ na wyniki i w wielu przypadkach może być pominięta bez utraty jakości modelu. Nie jest to jednak reguła uniwersalna. W Łodzi model działa lepiej przy uwzględnieniu wszystkich trzech wskaźników, a w Lublinie lepsze rezultaty daje ich oddzielna analiza. To pokazuje, że lokalne uwarunkowania mają duże znaczenie.

W ostatnim etapie analizy skupiono się wyłącznie na terenach zabudowanych. Takie podejście pozwoliło uzyskać lepsze dopasowanie modelu dla większości miast, co wskazuje, że wybrane wskaźniki urbanistyczne trafniej opisują zróżnicowanie temperatur na obszarach zurbanizowanych, bez uwzględniania takich terenów jak parki czy lasy. Mimo zastosowania wskaźnika opisującego zieleń, jego obecna forma nie w pełni oddaje jej rzeczywisty wpływ. Aby dokładniej odwzorować rolę terenów zielonych w kształtowaniu temperatury, konieczne byłoby ich bardziej szczegółowe i precyzyjne ujęcie w modelu.

Jak zabudowa i zieleń kształtują temperaturę w mieście?

Przeprowadzone analizy jednoznacznie wskazuje, że gęstość zabudowy jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na wzrost temperatury w miastach. Jej silny efekt ocieplający był szczególnie widoczny w takich ośrodkach jak:

- Kielce,
- Olsztyn,
- Rzeszów,

- Szczecin.

Oznacza to, że im bardziej zwarta i intensywnie zagospodarowana przestrzeń, tym większa skłonność do kumulacji ciepła.

Z kolei udział infrastruktury zielonej wykazywał wyraźny efekt chłodzący. Najsilniejsze oddziaływanie zaobserwowano w Katowicach oraz Trójmieście, gdzie obecność rozległych terenów zielonych znacząco obniżała temperaturę powierzchni.

Wyniki dotyczące intensywności zabudowy natomiast są bardziej złożone. W modelu uwzględniającym wszystkie trzy wskaźniki jej współczynniki często przyjmowały wartości ujemne. Nie oznacza to jednak, że intensywna zabudowa realnie chłodzi miasto. W analizach, w których badano ją osobno (w połączeniu z udziałem terenów zielonych), wykazywała ona dodatni wpływ na temperaturę, czyli efekt ocieplający. Zjawisko to wynika z silnego powiązania między gęstością a intensywnością zabudowy. W praktyce oznacza to, że gęstość zabudowy lepiej wyjaśnia wzrost temperatur, "przejmując" część wpływu przypisywanego intensywności. W efekcie intensywność zabudowy może pozornie wykazywać efekt chłodzący, choć w rzeczywistości nim nie jest.

Aby lepiej zrozumieć tę relację, tereny zabudowane podzielono na pięć kategorii według udziału roślinności i przeprowadzono dodatkowe analizy. Uzyskane wyniki pokazują, że:

- gęstość zabudowy niemal zawsze działa ocieplająco, niezależnie od ilości zieleni,
- wpływ intensywności zabudowy natomiast zależy od udziału roślinności.

Na obszarach o niskim udziale zieleni intensywność zabudowy często wykazuje efekt chłodzący. Może to wynikać z obecności cienia generowanego przez budynki oraz zwiększonej cyrkulacji powietrza między zabudową. Natomiast na terenach o większym

udziale roślinności intensywność zabudowy zaczyna działać ocieplająco. Wynika to z faktu, że jej wpływ nie jest w stanie zrównoważyć silnego efektu chłodzącego, jaki zapewnia roślinność.

Podsumowanie – najważniejsze wnioski

- **Gęstość zabudowy ma ogromny wpływ na wzrost temperatury** – im bardziej zwarte miasto, tym silniejszy efekt miejskiej wyspy ciepła;
- **Zieleń miejska działa jak naturalny „klimatyzator”** – jej obecność znacząco obniża temperaturę i poprawia dokładność modeli analitycznych;
- **Prostszy model może być równie skuteczny** – wykorzystanie tylko gęstości zabudowy i udziału zieleni daje wyniki porównywalne z bardziej złożonym modelem;
- **Intensywność zabudowy ma kontekstowy wpływ** – jej znaczenie zależy od otoczenia, szczególnie od ilości zieleni w danym obszarze;
- **Dokładne uwzględnienie terenów zielonych jest kluczowe** – ich niedoszacowanie prowadzi do błędów w analizie temperatur;
- **Każde miasto ma swoją specyfikę** – choć wspólna metodologia umożliwia porównania, lokalne warunki wymagają indywidualnego podejścia;
- **Planowanie przestrzenne ma realny wpływ na klimat miasta** – zwiększanie udziału zieleni to jedno z najskuteczniejszych narzędzi ograniczania efektu UHI;