

Monitoring satelitarny dla klimatu.

Miejskie wyspy ciepła

1. Wprowadzenie

Miejska wyspa ciepła to zjawisko polegające na podwyższeniu temperatury na obszarze miasta w stosunku do terenów pozamiejskich. Do jej powstawania przyczynia się przede wszystkim nagromadzenie powierzchni z materiałów akumulujących ciepło (beton, asfalt, cegła), niewielkiego udziału terenów zielonych oraz osłabionego przewietrzania. Istnieje kilka rodzajów pomiaru tego zjawiska w zależności od wybranych parametrów i metod badawczych. Na podstawie satelitarnych obrazowań termalnych możliwe jest porównanie temperatury powierzchni miast i terenów ich otaczających oraz przeanalizowanie zjawiska **powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła (PMWC)**.

Polska Agencja Kosmiczna w ramach działań w obszarze zwiększania wykorzystania danych satelitarnych i promowania ich zastosowań zleciła wykonanie analizy powierzchniowych wysp ciepła dla 2022 roku (półrocze ciepłe) dla Gdańska, Krakowa Łodzi, Warszawy i Wrocławia.

Podstawowym celem wykonanych analiz zróżnicowania temperatury powierzchni terenu oraz intensywności miejskiej wyspy ciepła było wstępne określenie wpływu zmian klimatu na miasta, a także zestawienie występowania zjawiska miejskiej wyspy ciepła z danymi społeczno-ekonomicznymi w kontekście usprawnienia procesów urbanizacyjnych.

2. Metodyka

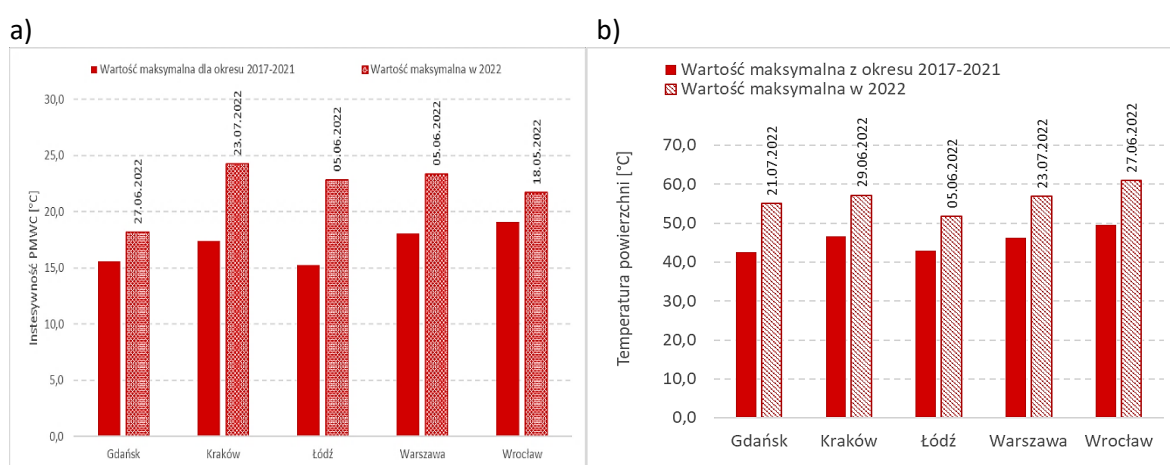
Zgodnie z przyjętą metodyką do opracowania map temperatury powierzchni terenu oraz map intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła wykorzystano dane termalne USGS (ang. *United States Geological Survey*) Landsat-8 i Landsat-9 oraz szereg danych pomocniczych, takich jak m.in.: dane o nieprzepuszczalności powierzchni, mapy pokrycia terenu Sentinel-2 *Global Land Cover 2021*, dane meteorologiczne, gęstości zaludnienia, dane o typach cyrkulacji Lityńskiego czy wskaźnik kondycji roślinności NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*).

Mapy temperatury powierzchni terenu oraz mapy intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła zostały wykonane dla obszarów wybranych miast z buforem 100 m na podstawie obrazowań satelitarnych Landsat pozyskanych przez instrument TIRS (ang. *Thermal Infrared Sensor*) dla roku 2022 roku oraz dla okresu referencyjnego 5 lat (2017-2021) z rozdzielczością przestrzenną 30 metrów.

Do walidacji produktów wykorzystano dane z satelitów Sentinel-3 z sensora SLSTR (ang. *Sea and Land Surface Temperature Radiometer*) oraz dane satelitarne Terra ze skanera MODIS (ang. *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*).

3. Analiza intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła dla poszczególnych miast

W ramach projektu dokonano analizy wartości maksymalnych intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła oraz temperatury powierzchni terenu w celu sprawdzenia czy rok 2022 wyróżnia się na tle okresu referencyjnego. Porównanie przeprowadzono dla klasy charakteryzującej się najwyższymi wartościami intensywności zjawiska, czyli dla terenów antropogenicznych. Wyniki pokazują, że wartości maksymalne intensywności PMWC w 2022 r. są wyższe od maksimów z okresu 2017-2021, przy czym różnica ta jest szczególnie wyraźna w przypadku Krakowa (wykres 1).

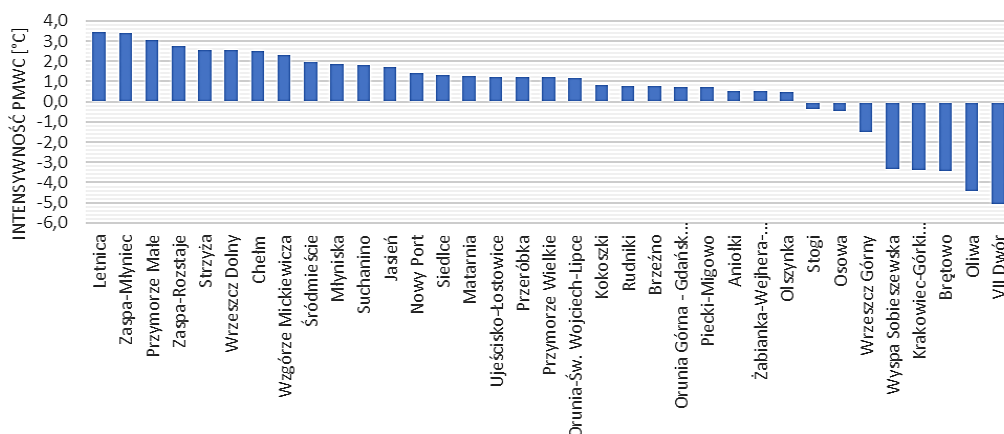


Wykres 1. Wartości maksymalne intensywności PMWC (a) oraz temperatury powierzchni terenu (b) w 5-leciu 2017-2021 oraz w 2022 r. Etykiety odpowiadają datom rejestracji obrazów Landsat z maksymalnymi wartościami prezentowanych parametrów (PMWC i temperatury). Wystąpiły w danych miastach dla terenów zurbanizowanych w całym analizowanym okresie (2017-2021) i dlatego są one większe od prezentowanych na innych wykresach wartości średnich tych parametrów.

Ze względu na znaczenie występowania zjawiska miejskiej wyspy ciepła dla warunków życia mieszkańców oraz planowania urbanistycznego, dokonano analizy intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w wybranych miastach również dla pomocniczych jednostek administracyjnych (dzielnic lub osiedli) w 2022 roku oraz dla okresu 5-lecia 2017-2021.

Gdańsk

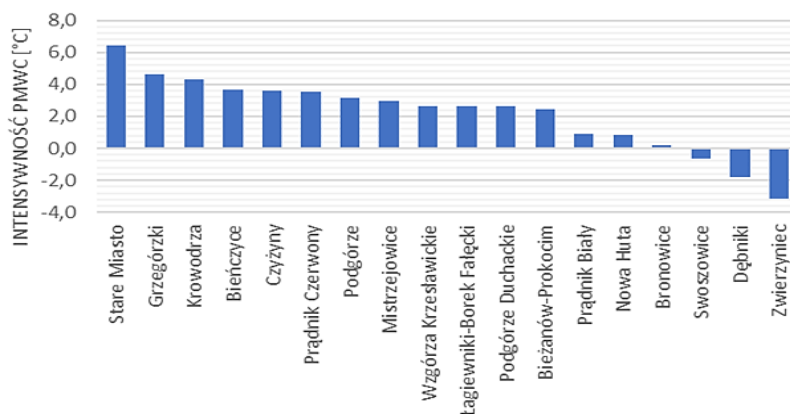
Wartości maksymalne intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w latach 2017-2021 oraz w roku 2022 w Gdańsku otrzymano dla tych samych dzielnic - **Przymorze Małe, Zaspa-Młyniec i Letnica**. Dzielnice te charakteryzują się dużym udziałem terenów antropogenicznych i roślinności trawiastej przy bardzo małym udziale lasów liściastych i lasów iglastych. Z kolei najniższe wartości intensywności miejskiej wyspy ciepła dla obu analizowanych okresów otrzymano dla dzielnic: **Wrzeszcz Górny, Wyspa Sobieszewska, Krakowiec-Górki Zachodnie, Brętowo, Oliwa** oraz **VII Dwór**. Są to dzielnice o najniższym udziale terenów antropogenicznych oraz najwyższym udziale lasów.



Wykres 2. Dzielnice Gdańska i intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w 2022 r. Im większe wartości, tym intensywniejsze zjawisko miejskiej wyspy ciepła.

Kraków

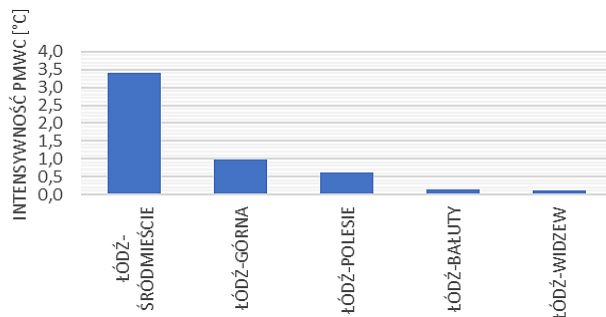
W przypadku Krakowa najwyższe wartości intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła, zarówno w latach 2017-2021, jak i w roku 2022, otrzymano dla dzielnicy **Stare Miasto**, charakteryzującej się najwyższym udziałem terenów antropogenicznych spośród wszystkich dzielnic. Najmniejsza intensywność zjawiska dotyczy natomiast dzielnic: **Zwierzyniec**, **Dębniki** i **Swoszowice**, czyli dzielnic z najwyższym udziałem lasów liściastych i iglastych. Na uwagę zasługuje przypadek dzielnicy Wzgórza Krzesławickie, które mają jeden z najniższych udziałów terenów antropogenicznych spośród wszystkich dzielnic Krakowa, przy stosunkowo wysokiej intensywności miejskiej wyspy ciepła. Przyczyną może być wysoki udział terenów rolnych (najwyższy w Krakowie), które w ciągu dnia mogą się mocno nagrzewać, szczególnie jeśli są to bogate w próchnicę czarnoziemy.



Wykres 1. Dzielnice Krakowa i intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w 2022 r. Im większe wartości, tym intensywniejsze zjawisko miejskiej wyspy ciepła.

Łódź

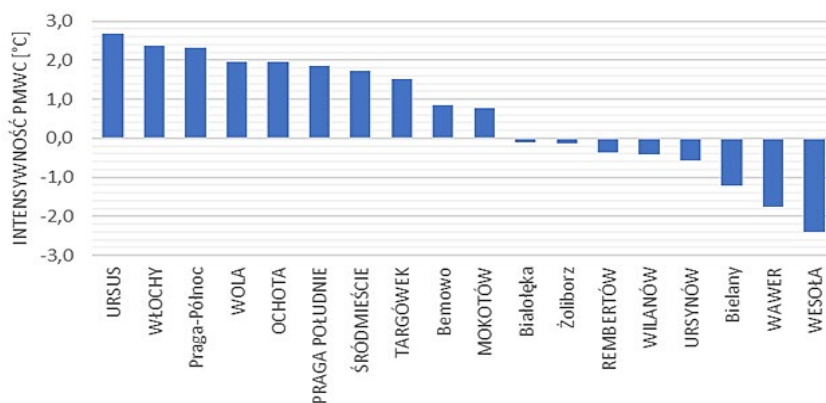
Dla Łodzi najwyższe wartości intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w obu analizowanych okresach otrzymano dla dzielnicy **Śródmieście**, która charakteryzuje się najwyższym udziałem terenów antropogenicznych ze wszystkich dzielnic tego miasta. Intensywność zjawiska dla dzielnicy Śródmieście jest niemal 7-krotnie większa od wartości uzyskanych dla pozostałych jednostek. Najniższe wartości uzyskano dla dzielnicy **Bałuty**, gdzie udział lasów liściastych jest największy spośród wszystkich jednostek administracyjnych Łodzi, a także dla dzielnicy **Widzew**, która ma najmniejszy udział terenów antropogenicznych spośród wszystkich dzielnic.



Wykres 2. Dzielnice Łodzi i intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w 2022 r. Im większe wartości, tym intensywniejsze zjawisko miejskiej wyspy ciepła.

Warszawa

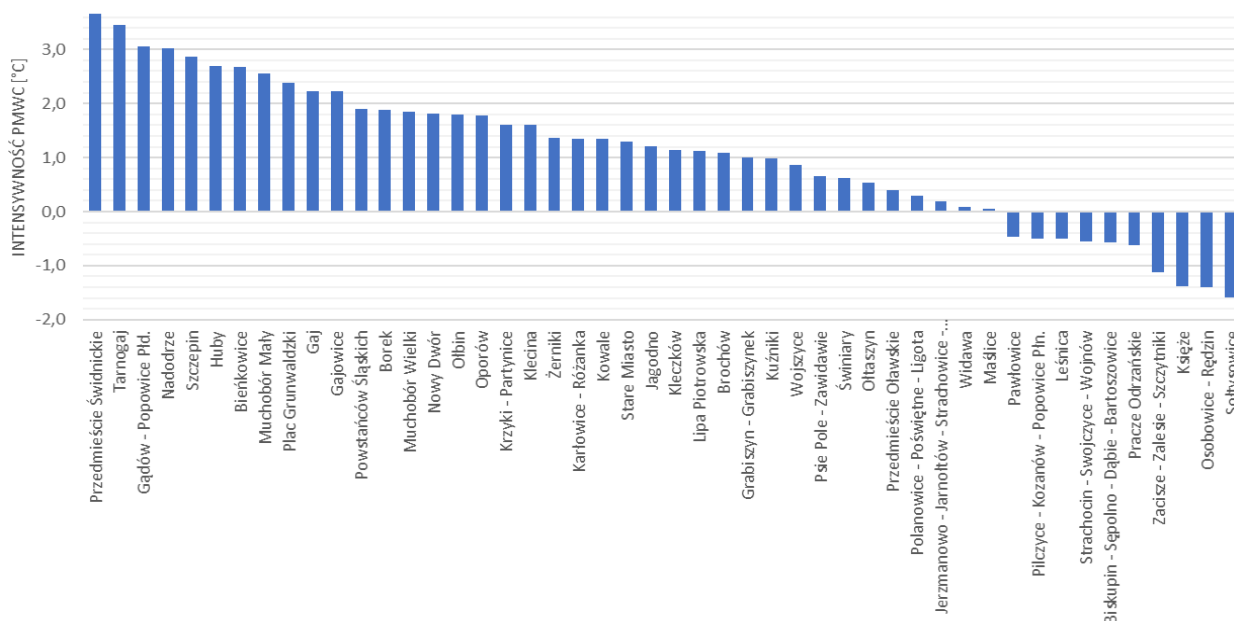
W przypadku Warszawy różnice pomiędzy wartościami intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła dla dzielnic znajdujących się na pierwszych ośmiu miejscach są niewielkie, zarówno dla 5-lecia 2017-2021, jak i dla 2022 roku. W obu przypadkach są to te same dzielnice, charakteryzujące się dużym udziałem terenów antropogenicznych oraz roślinności trawiastej. Najwyższe wartości otrzymano dla dzielnicy **Ursus**, a najniższe dla dzielnic **Bielany**, **Wawer** i **Wesoła**, gdzie udział lasów jest znaczny, przy niewielkim udziale terenów antropogenicznych.



Wykres 3. Dzielnice Warszawy i intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w 2022 r. Im większe wartości, tym intensywniejsze zjawisko miejskiej wyspy ciepła.

Wrocław

We Wrocławiu najwyższą wartość średnią intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła, zarówno w 5-leciu 2017-2021, jak i w 2022 roku, otrzymano dla osiedla **Przedmieście Świdnickie**, które charakteryzuje się najwyższym udziałem terenów antropogenicznych. Podobnie jak dla pozostałych miast, również dla Wrocławia najniższe wartości średniej intensywności PMWC otrzymano dla pomocniczych jednostek administracyjnych charakteryzujących się małym udziałem terenów antropogenicznych i wysokim udziałem lasów liściastych. Jednak przykład osiedli Bieńkowice i Stare Miasto pokazuje, że zależność intensywności PMWC od stopnia urbanizacji nie jest prosta. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z osiedlem o stosunkowo niskim udziale terenów antropogenicznych i wartościach intensywności PMWC zbliżonych do wartości dla osiedli o większym udziale tej klasy pokrycia terenu. Z kolei w przypadku osiedla Stare Miasto wartości intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy są wyraźnie mniejsze niż te otrzymane dla osiedli o podobnym udziale terenów antropogenicznych (tj. Przedmieście Świdnickie i Plac Grunwaldzki). Być może wpływ na ten wynik ma fakt, że osiedla we Wrocławiu charakteryzują się bardzo małą powierzchnią i być może wpływy sąsiednich jednostek są większe niż w przypadku innych miast.



Wykres 4. Dzielnice Wrocławia i intensywność powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w 2022 r. Im większe wartości, tym intensywniejsze zjawisko miejskiej wyspy ciepła.

4. Podsumowanie i rekomendacje

Niewątpliwą zaletą satelitów Landsat-8 i Landsat-9 jest rozdzielczość przestrzenna obrazów rejestrowanych w kanałach podczerwieni termicznej instrumentu TIRS, która wynosi 100 metrów. W tym zakresie spektralnym trudno jest uzyskać dużo wyższą rozdzielczość przestrzenną z pułapu satelitarnego. Porównywalną rozdzielczość przestrzenną aktualnie dostarczają dane z instrumentu ASTER (ang. *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) na pokładzie satelity Terra (90 metrów) oraz instrument ECOSTRESS na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (70 metrów). Ponadto dane o temperaturze powierzchni terenu pochodzące z Landsat z sensora TIRS udostępniane są przez USGS w rozdzielczości przestrzennej 30 metrów, po wykonanym resamplingu (przepróbkowaniu), w związku z użyciem w algorytmie estymacji danych z instrumentu OLI (ang. *Operational Land Imager*), który rejestruje dane w tej rozdzielczości. Wyższa rozdzielczość przestrzenna obrazów satelitarnych zazwyczaj pociąga za sobą niższą rozdzielczość czasową, tj. częstość zobrazowania satelitarnego dla danego obszaru. W przypadku satelitów Landsat obrazy z pory dziennej są pozyskiwane co 16 dni przez każdego satelitę. Satelity Landsat-8 i Landsat-9 działają aktualnie w konstelacji, czyli wspomniane obrazy z pory dziennej są dostępne co 8 dni.

Znaczną przeszkodą w wykorzystaniu danych Landsat w monitoringu powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła jest zachmurzenie. W Polsce obserwowane jest zachmurzenie na średnim poziomie 65-70% w ciągu roku. W związku z rozdzielczością czasową danych Landsat i dużym prawdopodobieństwem zachmurzenia nad obszarem Polski, w ciągu rozważanego półrocza ciepłego (kwiecień-wrzesień) można się spodziewać co najwyżej kilku bezchmurnych obrazów Landsat dla wybranego obszaru. Mając potencjalnie do dyspozycji niewielką liczbę obrazów w danym roku, jak np. w przypadku Krakowa w 2022 r. tylko 2 obrazy, trudno jest analizować zjawisko powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w jednym roku pod kątem klimatologicznym. Tego typu analizy powinny być prowadzone dla okresów wieloletnich, np. 5-letnich czy 10-letnich. Dane Landsat o temperaturze powierzchni terenu są właściwie dostępne od lat 80-tych ubiegłego wieku. Analiza tak długiej serii danych niewątpliwie dostarczyłaby bardziej istotnych statystycznie informacji.

Jednym z głównych zastosowań monitoringu miejskiej wyspy ciepła jest dostarczanie informacji o sytuacji bieżącej w miastach na potrzeby informowania ludności cywilnej, a także administracji publicznej i służb. Informacje o zjawisku będą przydatne urbanistom i planistom we wprowadzaniu rozwiązań i wymagań architektonicznych budynków minimalizujących dotkliwość miejskiej wyspy ciepła (np. tzw. "zielone dachy"). Informacje o miejskiej wyspie ciepła mogą być również wykorzystywane do wprowadzenia parametru określającego dopuszczalną gęstość zabudowy dla nowo planowanych inwestycji, zapewnienia odpowiedniej przestrzeni między budynkami, a także działań mających na celu zapewnienie ciągów przewietrzenia miast. Udostępniane w ramach monitoringu informacje o intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła mogłyby być wykorzystane do opracowania wskaźnika pozwalającego na oszacowanie ilości i rodzaju roślinności miejskiej, która jest potrzebna do schłodzenia powietrza latem o określoną liczbę stopni. Dodatkowo instytucje odpowiedzialne za planowanie modernizacji i budowy infrastruktury energetycznej, które mogłyby wykorzystywać informacje o miejskiej wyspie ciepła do dostosowania infrastruktury energetycznej do potrzeb wynikających z potencjalnej intensyfikacji zjawiska, szczególnie w czasie fal upałów.

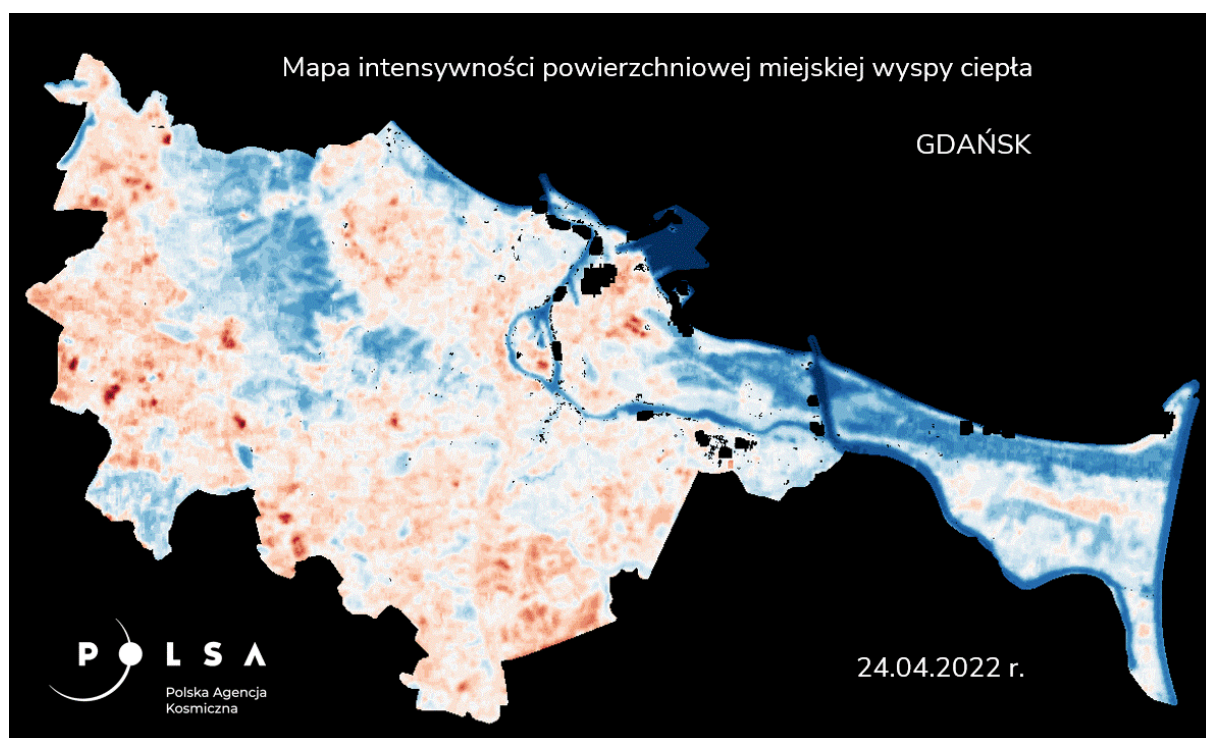
Władze miasta oraz instytucje zarządzania kryzysowego mogą być zainteresowane informacją o intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła oraz temperaturze powierzchni terenu w

miastach na potrzeby planowania i podejmowania działań zaradczych w przypadku wystąpienia zagrożenia spowodowanego współwystąpieniem miejskiej wyspy ciepła i wysokich temperatur powietrza, w tym fal upałów. Działania te mogłyby obejmować: ewentualną reorganizację lokalizacji centrów logistycznych służb miejskich, karetek pogotowia, straży pożarnej w celu minimalizacji czasów dojazdów do potrzebujących w połączeniu z informacją o gęstości zaludnienia i strukturze wiekowej populacji, ochronę infrastruktury miejskiej, w tym nawierzchni dróg, poprzez ich schładzanie wodą oraz ograniczenie ruchu pojazdów.

Serwis monitoringu powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła i temperatury powierzchni terenu w miastach zintegrowany z serwisami biometeorologicznymi może być wykorzystywany do generowania zaleceń i rekomendacji co do zachowania mieszkańców w czasie potencjalnej intensyfikacji miejskiej wyspy ciepła w lecie.

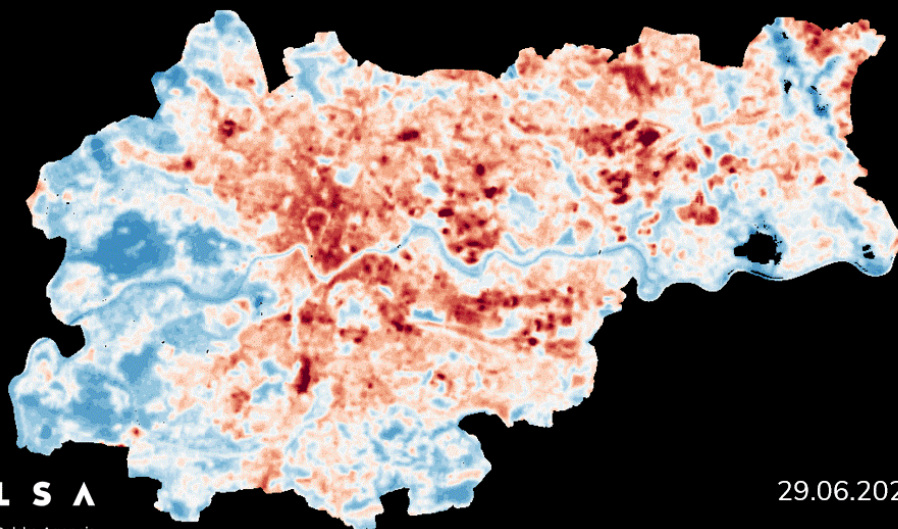
Monitoring intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła oraz temperatury powierzchni terenu dla wybranych miast Polski zostanie włączony do Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej (NSIS). Dzięki otwartemu dostępowi do informacji, jaki ma zapewnić NSIS, informacje o powierzchniowej miejskiej wyspie ciepła oraz temperaturze powierzchni terenu będą mogły być wykorzystane w działaniach adaptacyjnych miast do zmiany klimatu, podejmowanych w ramach Unijnej Strategii Adaptacyjnej i Unijnej Strategii na Rzecz Bioróżnorodności 2030. Unia Europejska podjęła inicjatywy mające na celu zwiększenie wiedzy i dostępności danych na temat podatności miast na zagrożenia i zdolności adaptacyjnych, wśród których należy wymienić opracowanie *Urban Adaptation Map Viewer* i *Copernicus Urban Atlas*. Integracja w ramach NSIS serwisu miejskiej wyspy ciepła z wymienionymi powyżej serwisami europejskimi jest interesującym i rozważanym kierunkiem rozwoju.

Poniżej przedstawiono mapy intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w 2022 roku dla 5 miast. Dostępne terminy pozyskania danych to bezchmurne zobrażenia satelitów Landsat-8 i 9.



Mapa intensywności powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła

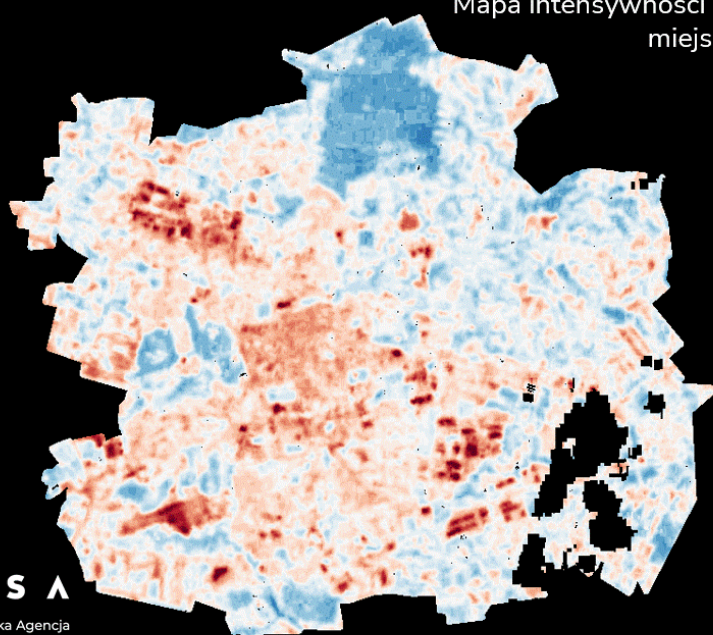
KRAKÓW



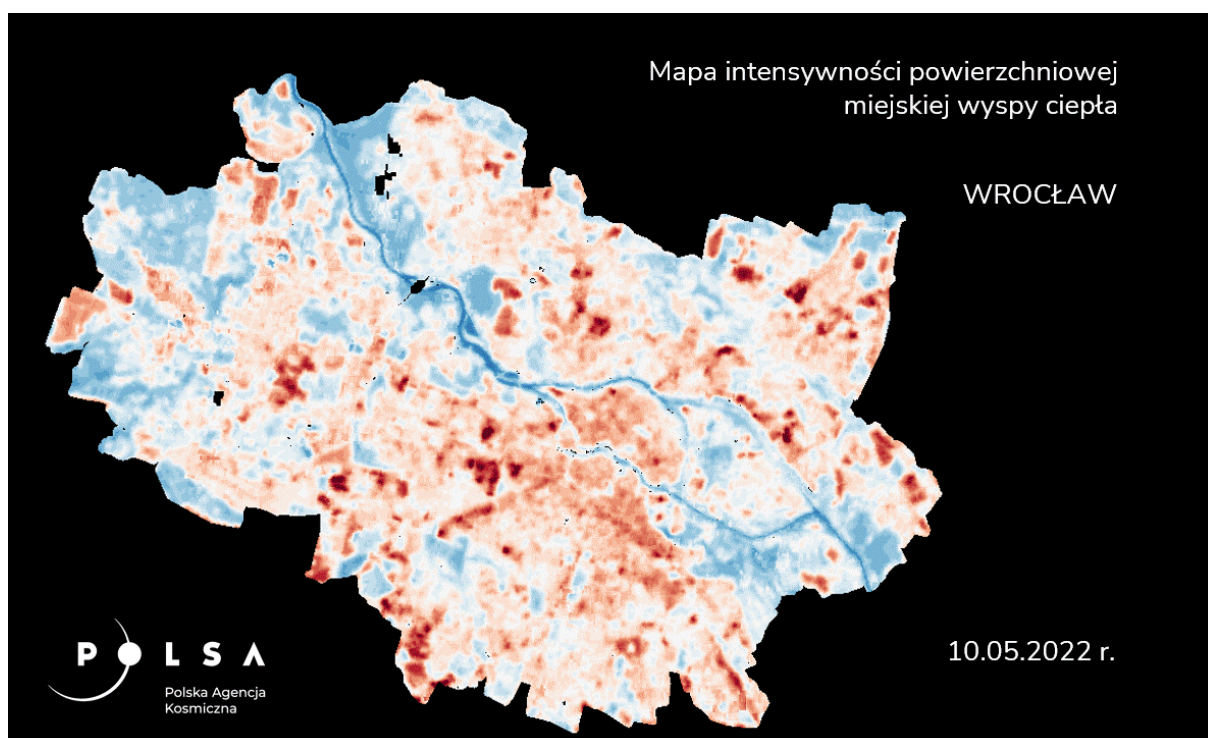
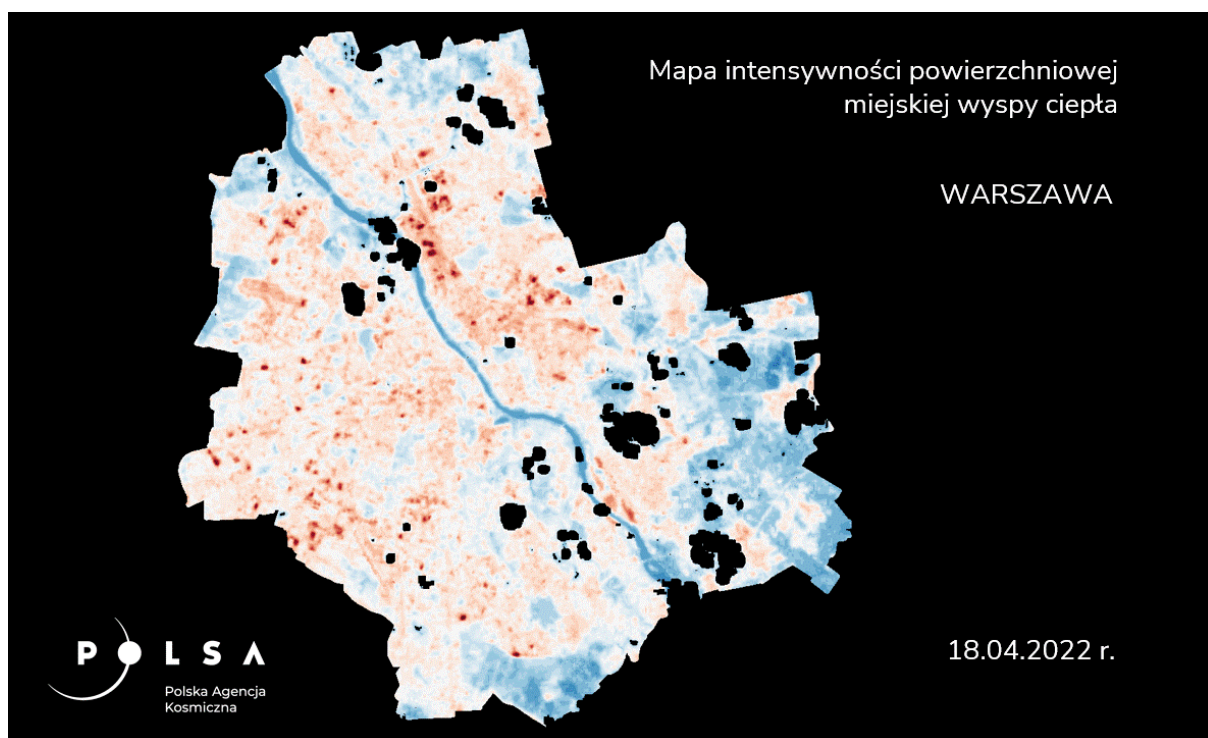
29.06.2022 r.

Mapa intensywności powierzchniowej
miejscowej wyspy ciepła

ŁÓDŹ



19.05.2022 r.



Literatura

Opracowanie powstało na podstawie dokumentu: Raport końcowy z realizacji umowy pn. „Monitoring satelitarny dla klimatu: miejska wyspa ciepła – pilotaż”, której wykonawcą był Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

Dokumentacja danych satelitarnych:

Department of the Interior, US. Geological Survey (2022), *Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide, Version 4.0*, EROS, Sioux Fall, South Dakota (<https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide>)

E. Polehampton, C. Cox, D. Smith, D. Ghent, M. Wooster, W. Xu, J. Bruniquel, S. Dransfeld (2022), *Copernicus Sentinel-3 SLSTR Land User Handbook*, Ref. no. 3MPC.ACR.HBK.002, Sentinel-3 Mission Performance Centre (<https://sentinels.copernicus.eu/en/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-slstr/document-library>)

Z. Wan (2013), *Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide*, ERI, University of California, Santa Barbara (https://lpdaac.usgs.gov/documents/118/MOD11_User_Guide_V6.pdf)

Publikacje naukowe:

Duan, S.-B., Li, Z.-L., Cheng, J., Leng, P., 2017. Cross-satellite comparison of operational land surface temperature products derived from MODIS and ASTER data over bare soil surfaces. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 126, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.02.003>

Liu, Y., Noumi, Y., Yamaguchi, Y., 2009. Discrepancy Between ASTER- and MODIS- Derived Land Surface Temperatures: Terrain Effects. *Sensors* 9, 1054–1066. <https://doi.org/10.3390/s90201054>

Simó, G., García-Santos, V., Jiménez, M.A., Martínez-Villagrasa, D., Picos, R., Caselles, V., Cuxart, J., 2016. Landsat and Local Land Surface Temperatures in a Heterogeneous Terrain Compared to MODIS Values. *Remote Sensing* 8. <https://doi.org/10.3390/rs8100849>