

OCENA ZASIĘGU I INTENSYWNOŚCI MIEJSKIEJ WYSPY CIEPŁA NA OBSZARZE GÓRNOŚLĄSKO-ZAGŁĘBIOWSKIEJ METROPOLII W PÓŁROCZU CIEPŁYM



Jakub Słotwiński

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych

j.slotwinski@ietu.pl

32 254 60 31 wew. 287

Źródło: foto.miemiec.eu

Część teoretyczna.
Wprowadzenie

- 🕒 Miasta a klimat lokalny
- 🕒 Miejska wyspa ciepła (MWC)
- 🕒 Dotychczasowy stan badań

Część praktyczna.
Przeprowadzone badania

- 🕒 Cel pracy
- 🕒 Materiały źródłowe i metody opracowania
- 🕒 MWC na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM) w półroczu ciepłym
- 🕒 Podsumowanie i wnioski

Źródło: foto.miemiec.eu



SPIS TREŚCI

- Ponad połowa światowej populacji mieszka obecnie na obszarach miejskich, a według szacunków UN-Habitat (2022) współczynnik urbanizacji ma osiągnąć 68% do końca roku 2050
- Rozwój miast oraz towarzyszącej im infrastruktury miejskiej skutkuje zmianami środowiska geograficznego, przejawiającymi się między innymi modyfikacją właściwości radiacyjnych, termicznych, wilgotnościowych oraz aerodynamicznych danego obszaru (Oke, 1987)
- Zmiany te są na tyle dobrze udokumentowane w literaturze naukowej, że miasta należy uważać za samoistny *czynnik klimatotwórczy* (Fortuniak, 2003), warunkujący możliwość wyodrębnienia *klimatu miejskiego* (Oke i in., 2017)

TYPOWE CECHY KLIMATU OBSZARÓW ZURBANIZOWANYCH

ZANIECZYSZCZENIA
POWIETRZA

WZMOŻENIE PROCESÓW
KONWEKCYJNYCH

REDUKCJA PRĘDKOŚCI
WIATRU I MODYFIKACJA
KIERUNKÓW JEGO
PRZEPŁYWU

MODYFIKACJE DAWKI
PROMIENIOWANIA
SŁONECZNEGO

MIEJSKA WYSPA CIEPŁA

- Miejska wyspa ciepła (MWC) jest zjawiskiem polegającym na występowaniu podwyższonej temperatury powietrza na obszarze miejskim w odniesieniu do otaczającego go tła pozamiejskiego (Arnfield, 2003)
- MWC zawdzięcza swoją nazwę obrazowi izoterm wyrysowanemu na planie miasta, który przypomina wyspę lub archipelag ciepła, otoczony oceanem względnego chłodu (Fortuniak, 2003)



Typ MWC	Skala przestrzenna	Procesy	Metody pomiaru <i>in situ</i>	Metody pomiaru <i>ex situ</i>
<i>Powierzchniowa MWC</i> (PMWC, ang. <i>SUHI</i>)	Mikro	Bilans promieniowania (BP) powierzchni czynnej	Czujniki termiczne na powierzchni czynnej	Teledetekcja satelitarna i lotnicza
<i>MWC warstwy dachowej</i> (MWC _{MWD} , ang. <i>UHI_{UCL}</i>)	Lokalna	BP powierzchni czynnej i warstwy dachowej	Czujniki termiczne w punktach stałych (pomiaru stacjonarne) i przejazdy pomiarowe (pomiaru mobilne)	Mini-sodar, mini-lidar
<i>MWC warstwy granicznej</i> (MWC _{MWG} , ang. <i>UHI_{UBL}</i>)	Lokalna i mezo	BP górnej granicy warstwy tarcia i miejskiej warstwy granicznej	Czujniki termiczne na statkach powietrznych, balonach i wieżach pomiarowych	Sodar, Lidar, sondy radioakustyczne (RAAS)
<i>Podpowierzchniowa MWC</i> (MWC _{Podr} , ang. <i>UHI_{Sub}</i>)	Lokalna	Podpowierzchniowy BP	Czujniki termiczne w podłożu	–

Potrzeba prowadzenia badań nad MWC oraz praktycznej aplikacji wynikających z nich zaleceń jest o tyle silna, że *miasta są miejscem życia coraz większej liczby ludności na całym świecie, a niekorzystne procesy demograficzne* zachodzące m.in. wewnątrz społeczeństw rozwiniętych krajów europejskich jedynie *zwiększają negatywne skutki oddziaływania tego zjawiska na zdrowie oraz działalność człowieka.*

DLACZEGO BADANIA NAD MWC SĄ ISTOTNE?



URBAN CLIMATES



**T. R. Oke, G. Mills,
A. Christen and J. A. Voogt**

Urban Climates (Oke i in., 2017): kompendium wiedzy z zakresu klimatu miasta i nie tylko

- 🔄 *The Climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it* (Howard, 1833): porównanie warunków termicznych w mieście i na terenie pozamiejskim w latach 1807–1816
- 🔄 *Das Stadtklima* (Kratzer, 1937): synteza ponad 200 prac z zakresu przedwojennej klimatologii miejskiej
- 🔄 *Selected bibliography on urban climate* (Chandler, 1970): odniesienia do ponad 1800 opracowań
- 🔄 Timothy Richard Oke: cztery monografie z zakresu klimatologii miejskiej i mikroklimatologii, kilkadziesiąt publikacji dotyczących różnych aspektów klimatu miasta, w tym MWC
- 🔄 Ian Douglas Stewart: koncepcja *Local Climate Zones* (LCZ)



- *Karta meteorologiczna stolicy Królestwa Polskiego (Jastrzębowski, 1828): różnica w temperaturze między centrum a przedmieściami Warszawy, która wynosiła zwłaszcza w porze zimowej od 1 do 3 stopni*
- *Merecki (1915): obniżenie sum usłonecznienia w mieście względem terenów zamiejskich o około 100 godzin*
- *Gorczyński i Kosińska (1916): nadwyżka w wartościach temperatury powietrza w Warszawie wynosząca średnio 1,5°C latem i 0,5°C zimą*
- *Badania ośrodków: warszawskiego, krakowskiego, łódzkiego, poznańskiego, wrocławskiego...*

Źródło: inyourpocket.com



- Brak jakichkolwiek badań dotyczących AMWC
- Paszyński (1972): wzmianki o indywidualności klimatu Górnego Śląska
- Opracowania topoklimatyczne Sosnowca (Radosz, 2007) czy Katowic (Radosz, 2010)
- Wzrost zainteresowania PMWC pośród badaczy Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego (WNP UŚ) czy IETU



*Miejska wyspa ciepła jest
dobrze opisana, ale raczej
słabo rozumiana
(Oke, 1982).*

Celem niniejszej pracy jest *ocena zasięgu i intensywności atmosferycznej miejskiej wyspy ciepła na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii w półroczu ciepłym*, rozumianym jako okres od kwietnia do września. Wybór celu opracowania podyktowany jest:

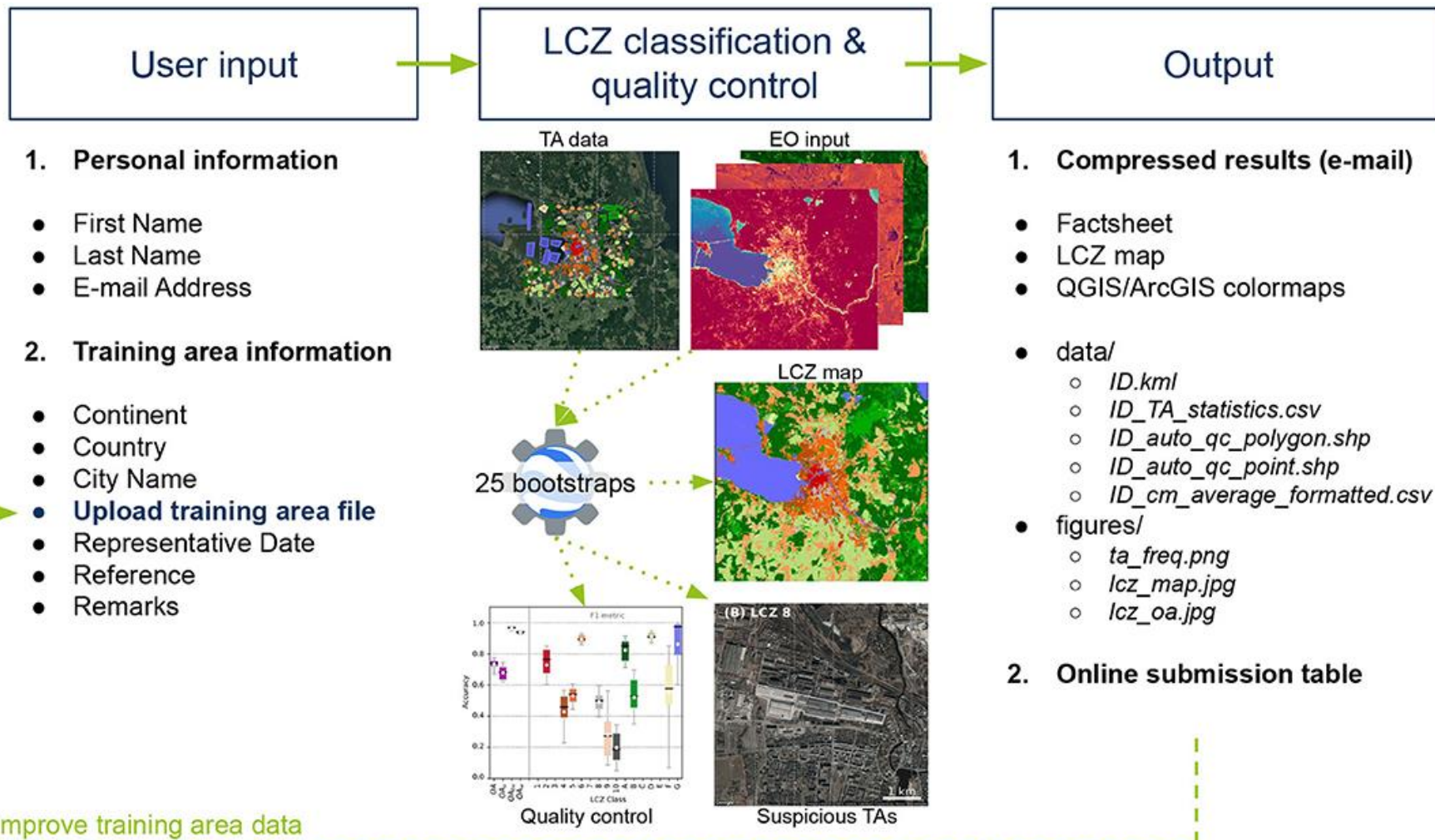
- specyficzną strukturą przestrzenną użytkowania i pokrycia terenu na obszarze GZM, wynikającą z rozwoju historycznego tego regionu;
- możliwością zastosowania zaleceń wynikających z pracy w opracowaniach dotyczących kierunków rozwoju GZM;
- brakiem rozpoznania problemu AMWC na terenie GZM, co czyni wybrany temat atrakcyjną niszą badawczą.

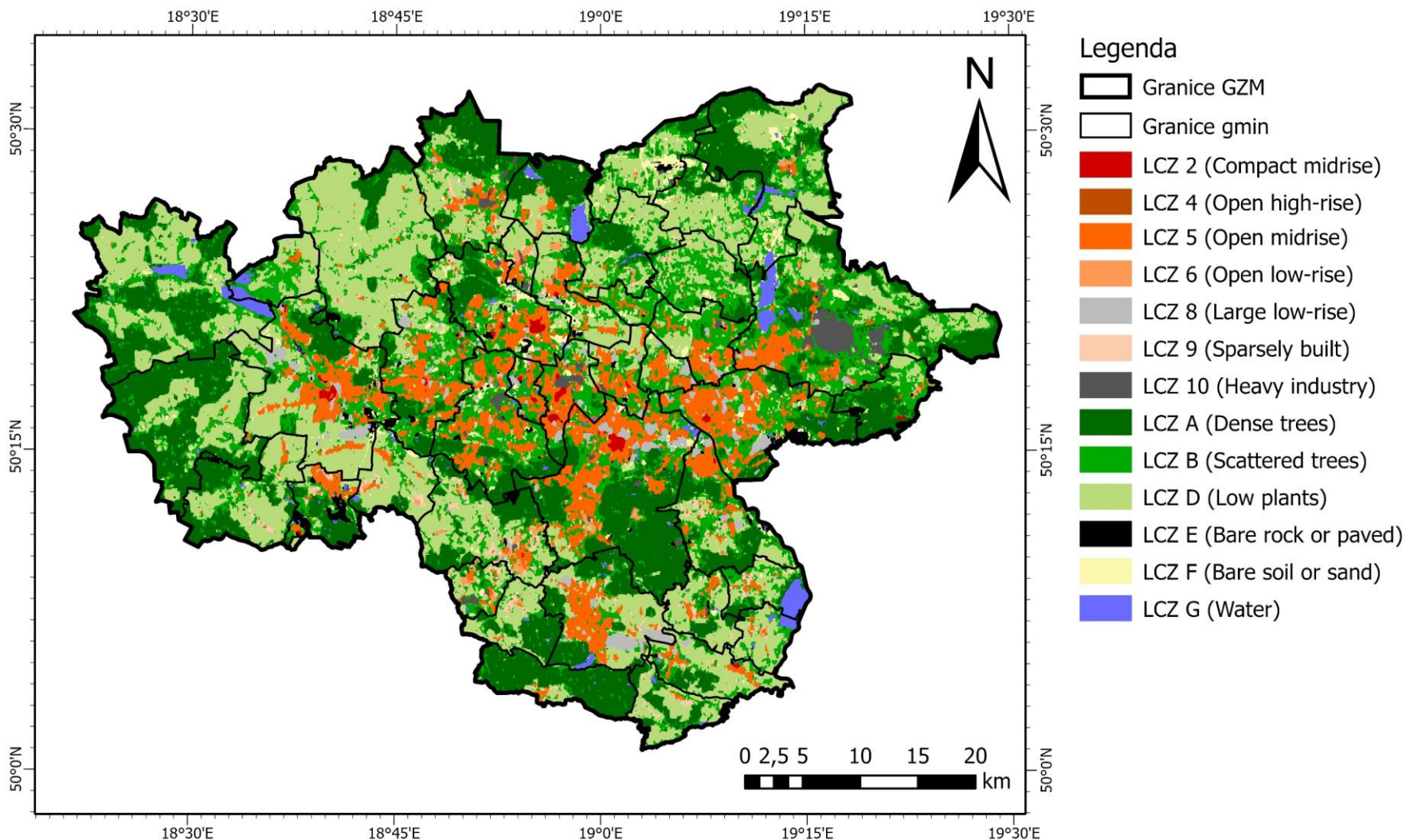
W celu ekstrapolacji danych dotyczących intensywności miejskiej wyspy ciepła na obszary, gdzie pomiary nie były wykonywane, konieczne było opracowanie podziału terenu GZM na *lokalne strefy klimatyczne*, opisane po raz pierwszy w obecnej formie przez Stewarta i Oke'a (2012).

Wykorzystano dostępny online generator LCZ (Demuzere i in., 2021), gdzie danymi wejściowymi są *zdjęcia satelitarne* danego obszaru, w obrębie których użytkownik, zgodnie ze swoją wiedzą ekspercką, wyznacza *obszary szkoleniowe* (ang. *training areas*), reprezentujące poszczególne typy LCZ. Następnie program, na drodze *analiz multispektralnych*, klasyfikuje cały obszar według znanej typologii.



Źródło: Demuzere i in. (2021)







Podział obszaru GZM na LCZ

Źródło: opracowanie własne na podstawie Demuzere i in. (2021)

W związku z brakiem działania na obszarze GZM jednolitej oraz wystarczająco gęstej sieci pomiarowej temperatury powietrza, w niniejszym opracowaniu wykorzystano dane meteorologiczne pochodzące z różnych źródeł. Sieć zagęszczono o *dwa własne punkty pomiarowe*, w skład których wchodziły;

-  rejestrator termiczny Onset HOBO U23 Pro v2 z interwałem 5-minutowym;
-  osłona radiacyjna.



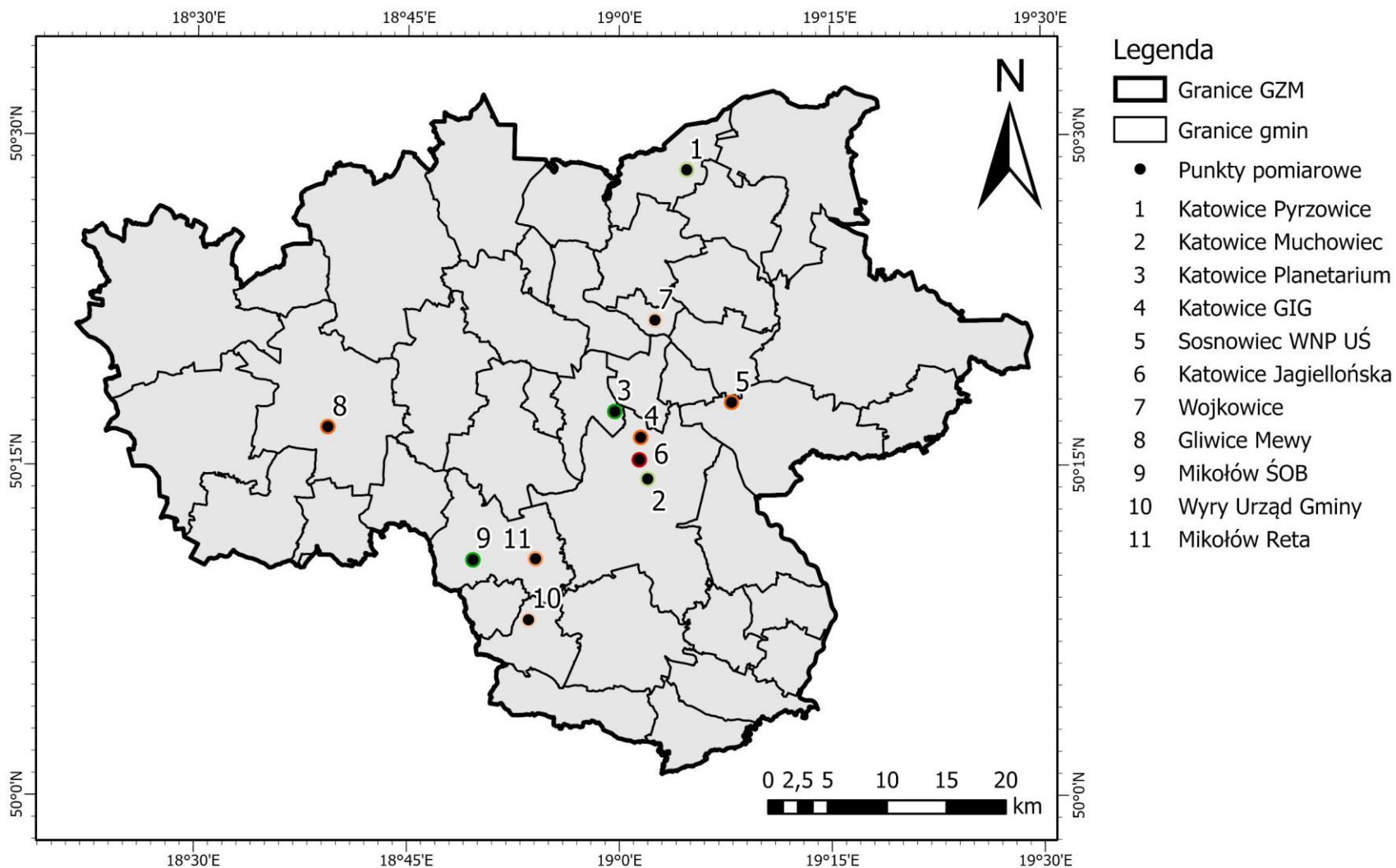
Punkt pomiarowy
Wyry Urząd Gminy



Punkt pomiarowy
Mikołów Reta



#	Nazwa punktu	Właściciel	Adres	Wysokość bezwzględna [m n.p.m.]	LCZ
1	Stacja lotniskowa Katowice Pyrzowice	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB)	ul. Wolności 90, 42-625 Pyrzowice	284	D
2	Stacja synoptyczna Katowice-Muchowiec	IMGW-PIB	ul. Lotnisko 1, 40-271 Katowice	284	D
3	Stacja klimatologiczna Katowice Planetarium	Planetarium Śląskie w Chorzowie	al. Planetarium 4, 41-516 Chorzów	317	B
4	Stacja meteorologiczna Katowice GIG	Główny Instytut Górnictwa (GIG) w Katowicach	Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice	283	5
5	Stacja meteorologiczna Sosnowiec WNP UŚ	Wydział Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego (WNP UŚ)	ul. Będzińska 60, 41-205 Sosnowiec	263	5
6	Punkt pomiarowy Katowice Jagiellońska	Aleksandra Renc (WNP UŚ)	ul. Jagiellońska 28, 40-432 Katowice	276	2
7	Punkt pomiarowy Wojkowice	Aleksandra Renc (WNP UŚ)	ul. Proletariatu 40, 42-580 Wojkowice	287	9
8	Punkt pomiarowy Gliwice Mewy	Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ)	ul. Mewy 34, 44-114 Gliwice	236	5
9	Stacja meteorologiczna Mikołów ŚOB	Śląski Ogród Botaniczny (ŚOB) w Mikołowie	ul. Sosnowa 5, 43-190 Mikołów	331	B
10	Punkt pomiarowy Wryy Urząd Gminy	punkt własny	ul. Główna 92B, 43-175 Wryy	302	9
11	Punkt pomiarowy Mikołów Reta	punkt własny	ul. Reta 2, 43-190 Mikołów	288	6

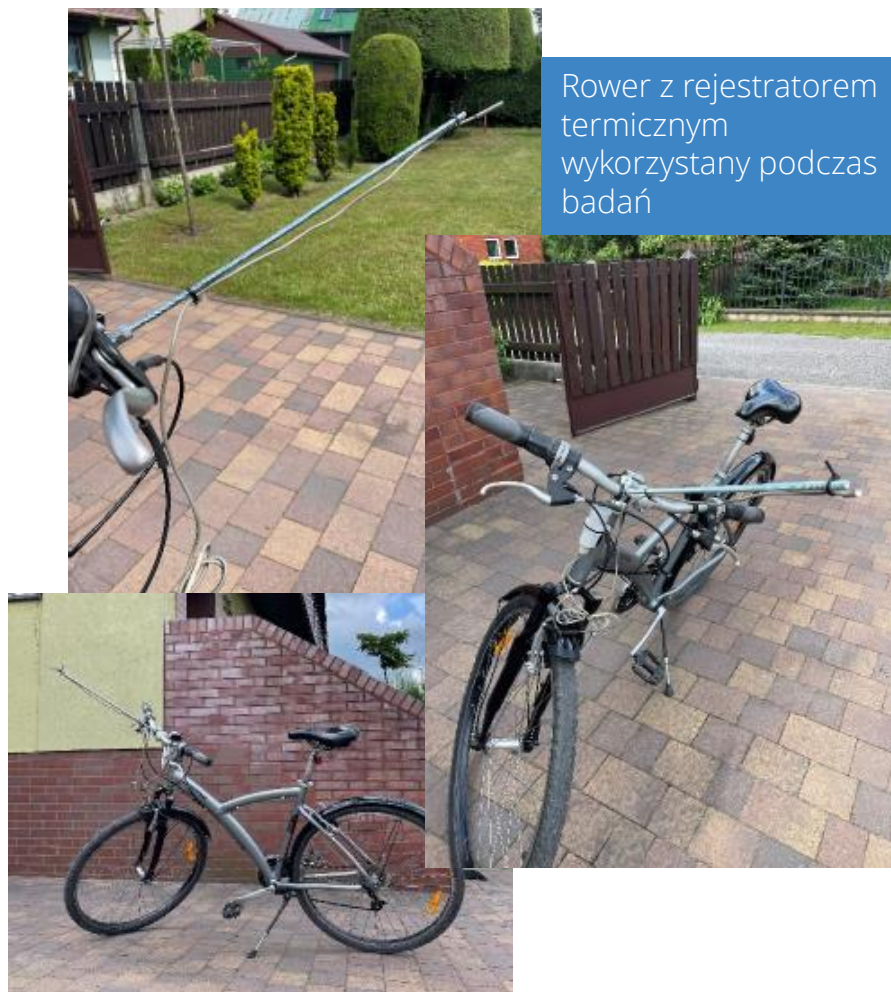


Lokalizacja punktów pomiarowych wykorzystanych w opracowaniu na obszarze GZM

**kolory obramowania punktów pomiarowych odpowiadają przypisanym im typom LCZ*

Przejazdy pomiarowe wykonano *rowerem*, do którego zamocowano według koncepcji autora oprzyrządowanie mierzące i rejestrujące temperaturę powietrza:

- rejestратор termiczny Onset HOBO U23 Pro v2 z interwałem 1-sekundowym;
- plastikowa obejma i opaska zaciskowa;
- metalowy, gwintowany pręt przymocowany do kierownicy roweru;
- końcówka pomiarowa w wysokości około 1,5 metra nad poziomem gruntu, przed kierującym.

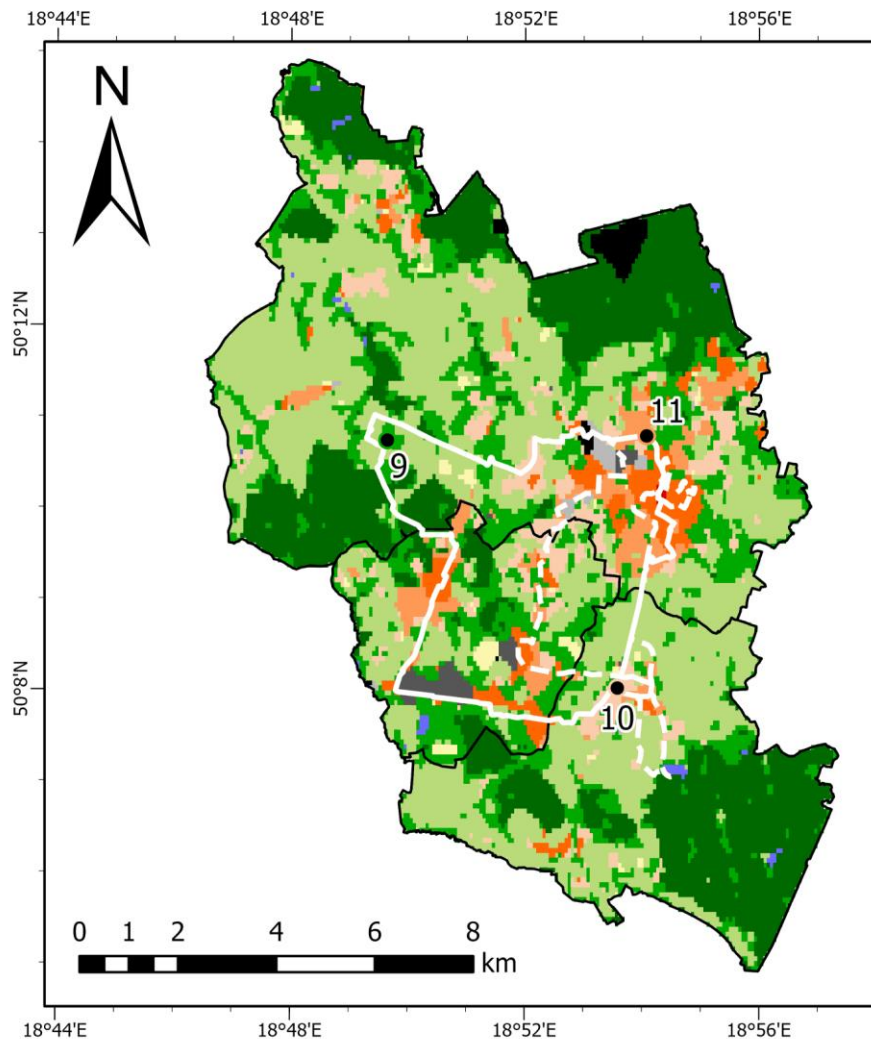




W trakcie prac przygotowawczych wytyczono dwie trasy pomiarowe, 1a oraz 1b, stanowiące pętle i obejmujące *jak największe zróżnicowanie w pokryciu terenu* oraz jego *użytkowaniu*. Na końcowy charakter tras wpływ miały ponadto:

- 🔄 ukształtowanie terenu;
- 🔄 lokalizacja stacjonarnych punktów pomiarowych;
- 🔄 obecność form i obiektów charakterystycznych dla obszaru GZM;
- 🔄 obecność rozwiązań łagodzących zjawisko MWC;
- 🔄 długość oraz bezpieczeństwo planowanego przejazdu.

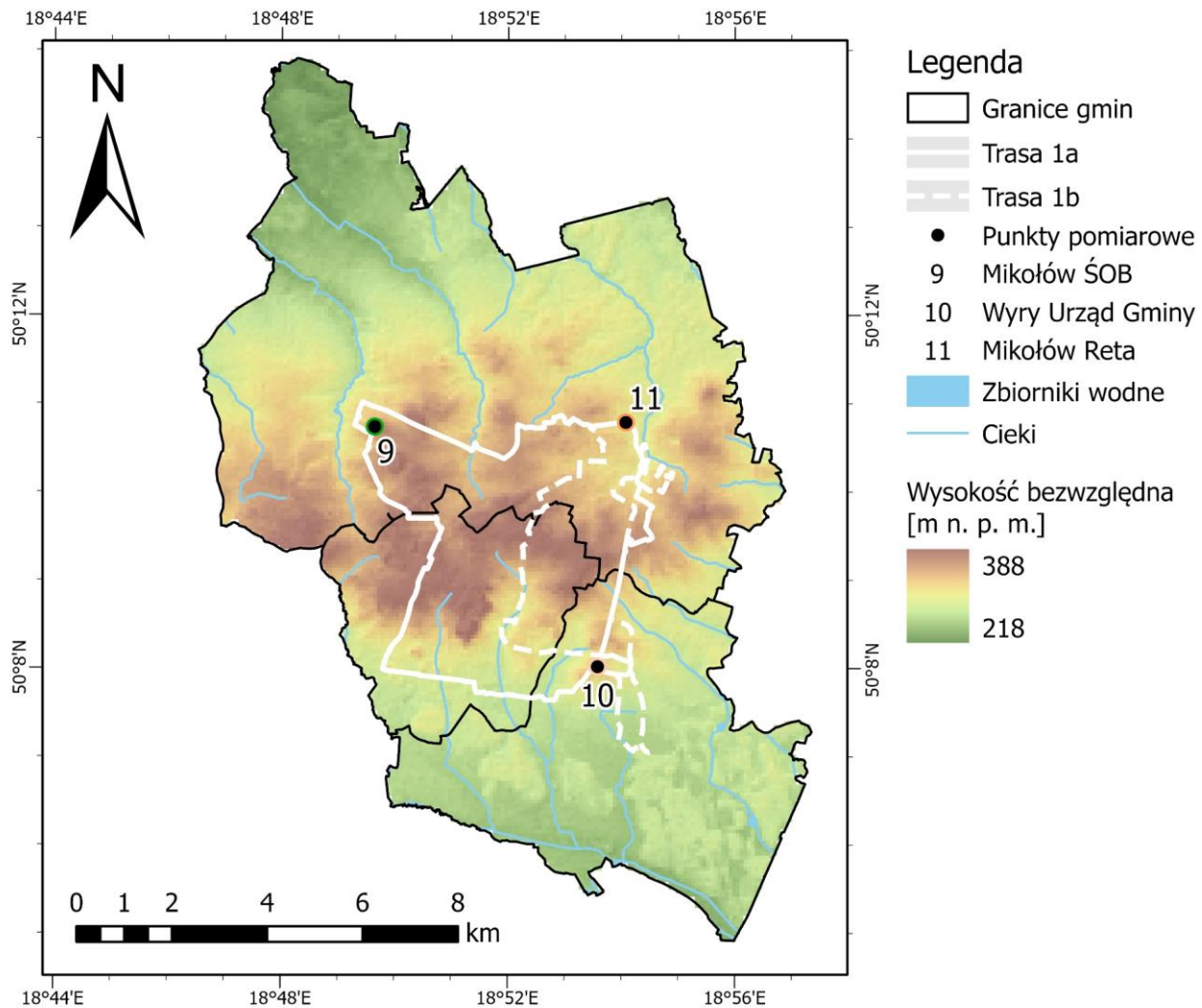
Legenda

-  Granice gmin
-  Trasa 1a
-  Trasa 1b
- Punkty pomiarowe
- 9 Mikołów ŚOB
- 10 Wiry Urząd Gminy
- 11 Mikołów Reta
-  LCZ 2 (Compact midrise)
-  LCZ 4 (Open high-rise)
-  LCZ 5 (Open midrise)
-  LCZ 6 (Open low-rise)
-  LCZ 8 (Large low-rise)
-  LCZ 9 (Sparsely built)
-  LCZ 10 (Heavy industry)
-  LCZ A (Dense trees)
-  LCZ B (Scattered trees)
-  LCZ D (Low plants)
-  LCZ E (Bare rock or paved)
-  LCZ F (Bare soil or sand)
-  LCZ G (Water)



-  GZM
-  Omawiany obszar powiatu mikołowskiego

Przebieg tras pomiarowych na tle zróżnicowania typów LCZ w wybranych gminach powiatu mikołowskiego



Przebieg tras pomiarowych na tle użytkowania oraz rzeźby terenu w wybranych gminach powiatu mikołowskiego
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Landsat.

- Podczas przejazdu patrolowego kierujący wyposażony był w telefon z modułem *Global Navigation Satellite System* (GNSS), wykorzystywanym przez aplikację SW Maps
- Aplikacja z 6-sekundowym interwałem pomiarowym zapisywała dane lokalizacyjne roweru podczas transektu
- Przejazdy pomiarowe przeprowadzono *latem* roku 2023, *w godzinach nocnych, przynajmniej pół godziny po zachodzie słońca*, po dniu z *pogodą radiacyjno-insolacyjną*
- Przejazdy wykonywane były ze *stosunkowo niską, stałą prędkością* z uwagi na bezwładność termiczną rejestratora temperatury powietrza, a dłuższe postoje planowane były przy stacjonarnych punktach pomiarowych i trwały około 1–2 minut
- W trakcie lipca i sierpnia roku 2023 przeprowadzono *8 przejazdów pomiarowych*, z czego 6 na trasie 1a oraz 2 na trasie 1b
- Uzyskane dane sprowadzono do wspólnego mianownika i nałożono na nie poprawki wynikające ze zróżnicowanego tempa wychładzania się różnych typów LCZ

Intensywność MWC opartą o dane pochodzące z sieci punktów pomiarowych obliczono jako różnicę między wartością temperatury w danym punkcie i na stacji Katowice Pyrzowice.

Różnice obliczono dla danych godzinowych ciepłej pory roku (kwiecień–wrzesień) lat 2012–2022.

$$UHI\ index = T_x - T_{ref}$$




gdzie

T_x – wartość temperatury powietrza zarejestrowana w danej godzinie w wybranym punkcie pomiarowym

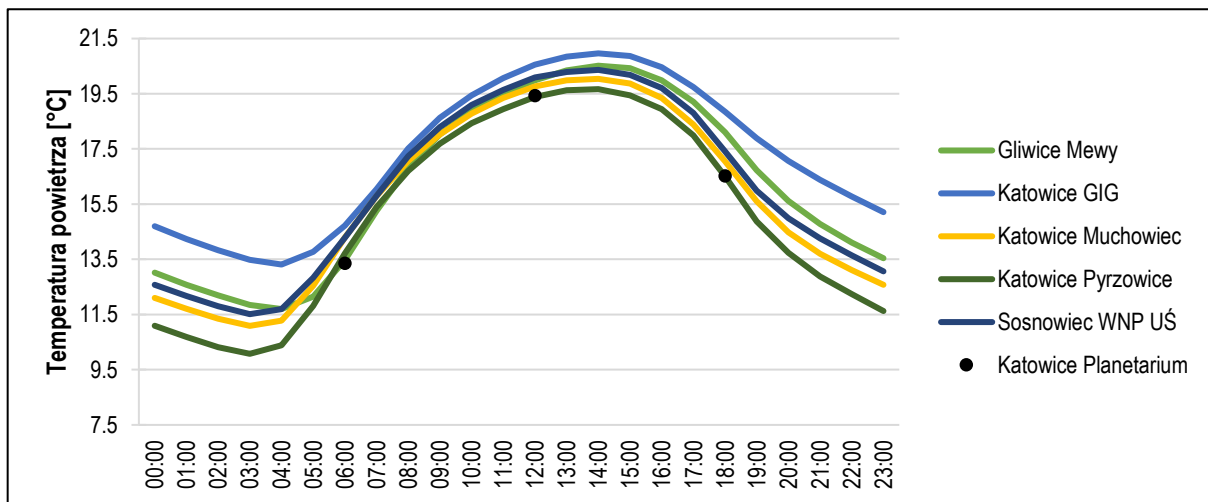
T_{ref} – wartość temperatury powietrza zarejestrowana w danej godzinie na referencyjnej stacji pozamiejskiej Katowice Pyrzowice

Intensywność MWC w oparciu o dane pochodzące z *pomiarów mobilnych* obliczono według koncepcji autorskiej. Od wartości temperatury zarejestrowanej w danym momencie przez rejestrator przymocowany do roweru odjęto średnią temperaturę zapisaną przez rejestrator w trakcie przejazdu na fragmencie trasy określonym jako pozamiejski.

Wyboru pozamiejskiego, referencyjnego fragmentu trasy dokonano na podstawie:

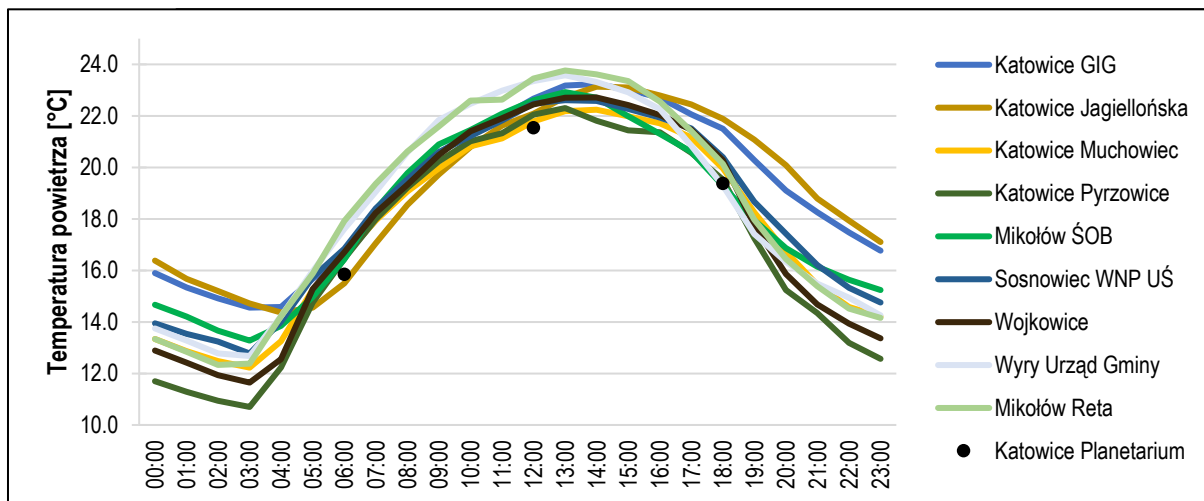
-  odległości fragmentu trasy od centrum najbliższego ośrodka miejskiego;
-  charakteru zabudowy oraz użytkowania i pokrycia terenu, reprezentowanego przez typ LCZ (preferowany był LCZ D);
-  wpływu nieuwzględnianych w koncepcji LCZ czynników modyfikujących stosunki termiczne, takich jak rzeźba terenu.



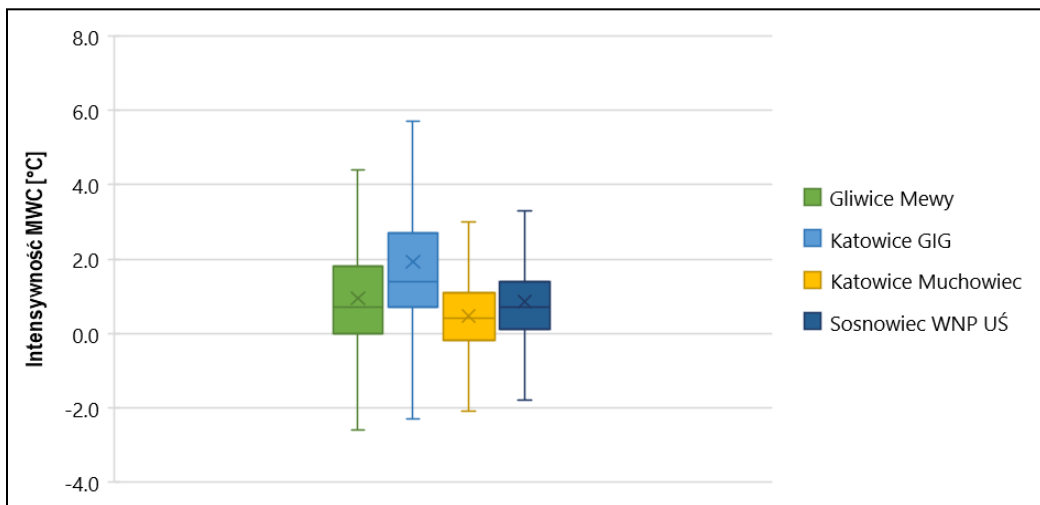


Średni dobowy przebieg temperatury powietrza w analizowanych punktach w półroczach ciepłych w latach 2012-2022

Średni dobowy przebieg temperatury powietrza w analizowanych punktach w czerwcu 2023

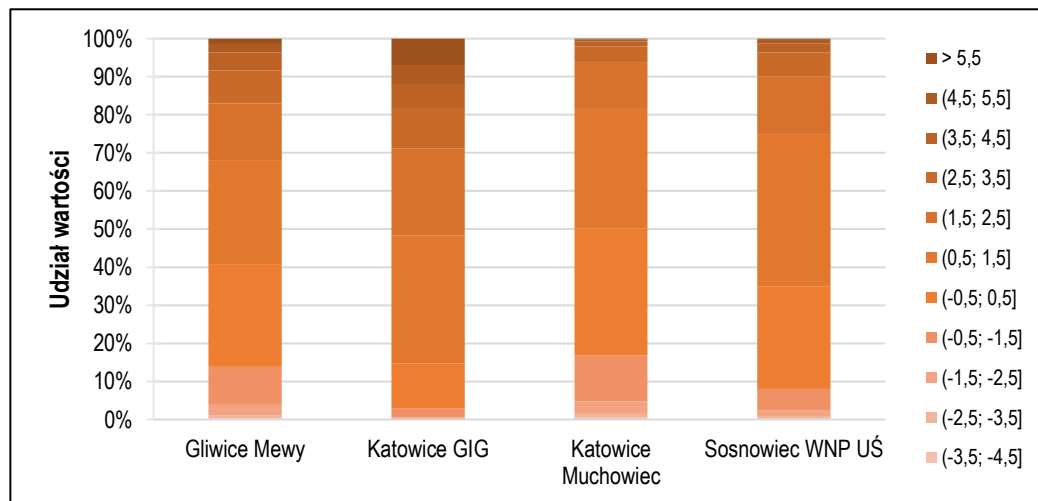


MWC NA OBSZARZE GZM W PÓŁROCZU CIEPŁYM

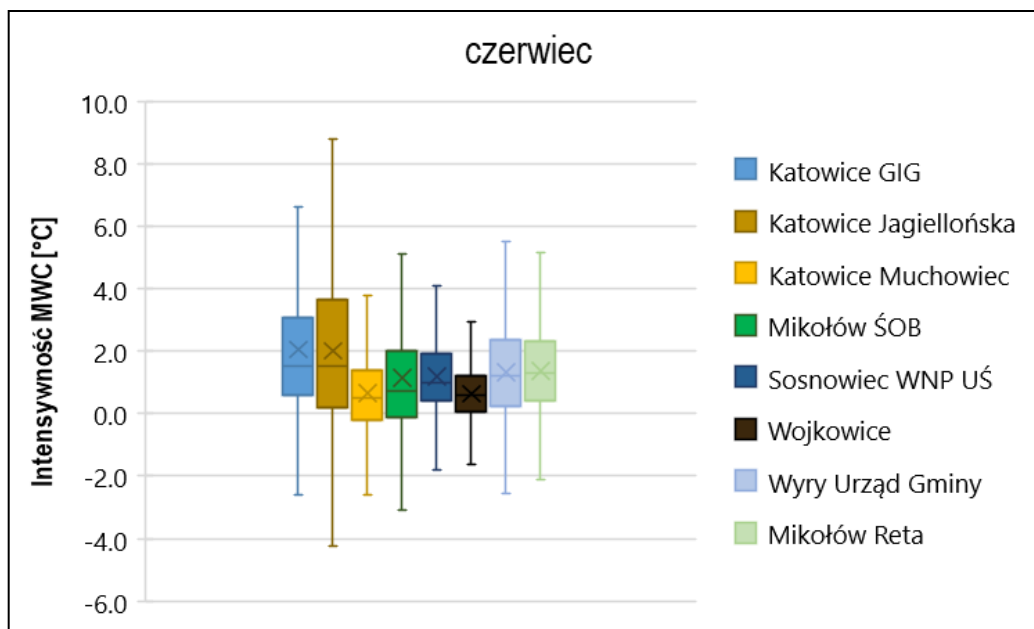


Intensywność MWC w analizowanych punktach pomiarowych w półroczach ciepłych w latach 2012–2022

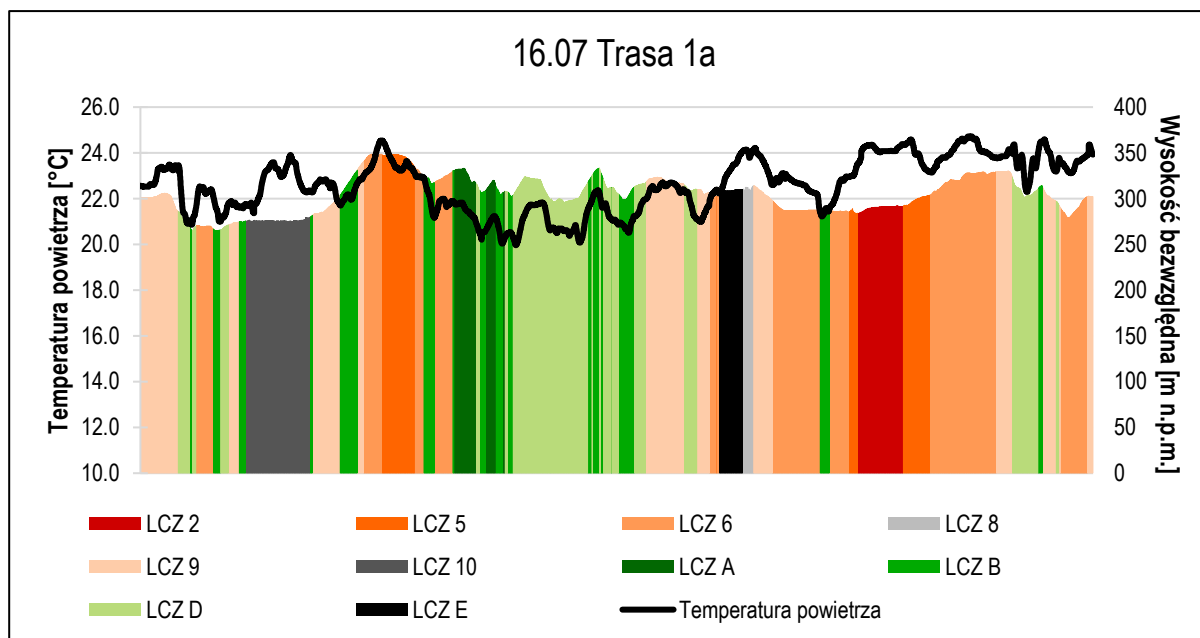
Intensywność MWC w przedziałach 1-stopniowych w analizowanych punktach pomiarowych w półroczach ciepłych w latach 2012–2022



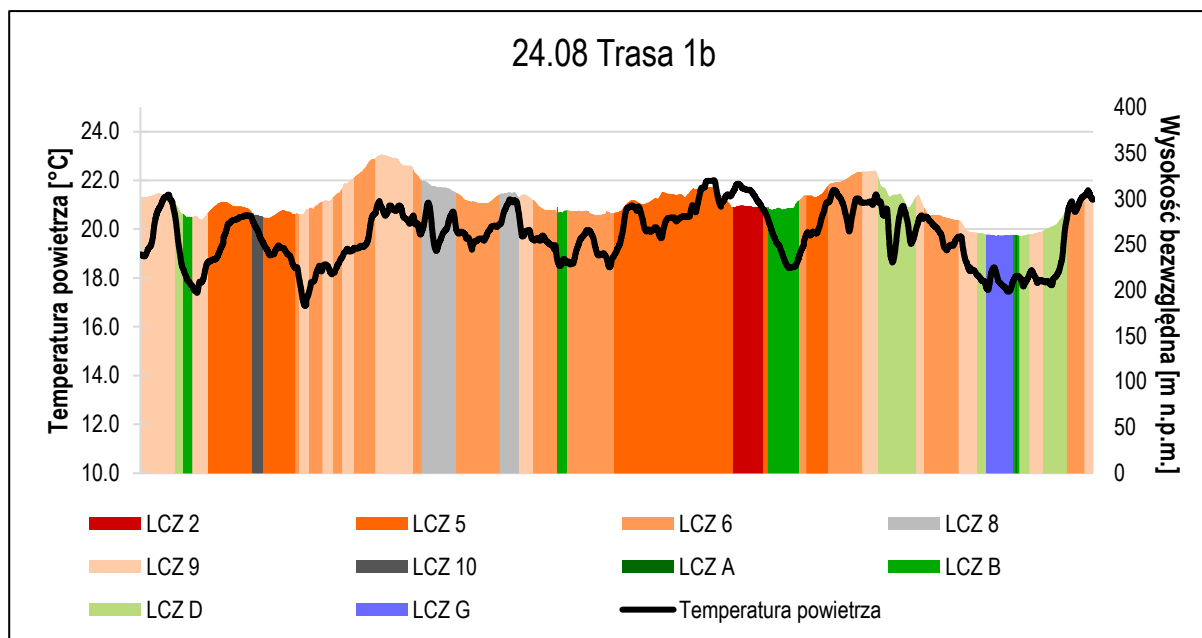
MWC NA OBSZARZE GZM W PÓŁROCZU CIEPŁYM



Intensywność MWC w analizowanych punktach pomiarowych w czerwcu 2023

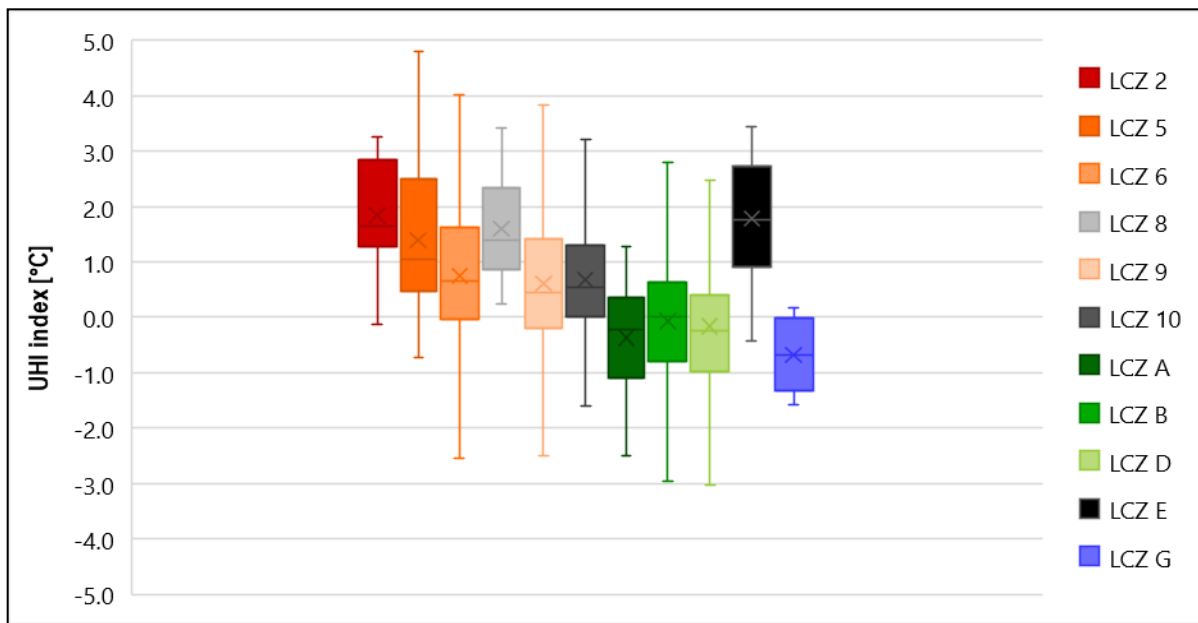


Zróżnicowanie termiczne trasy pomiarowej 1a podczas przejazdu 16 lipca na tle typów LCZ i ukształtowania powierzchni



Zróżnicowanie termiczne trasy pomiarowej 1b podczas przejazdu 24 sierpnia na tle typów LCZ i ukształtowania powierzchni

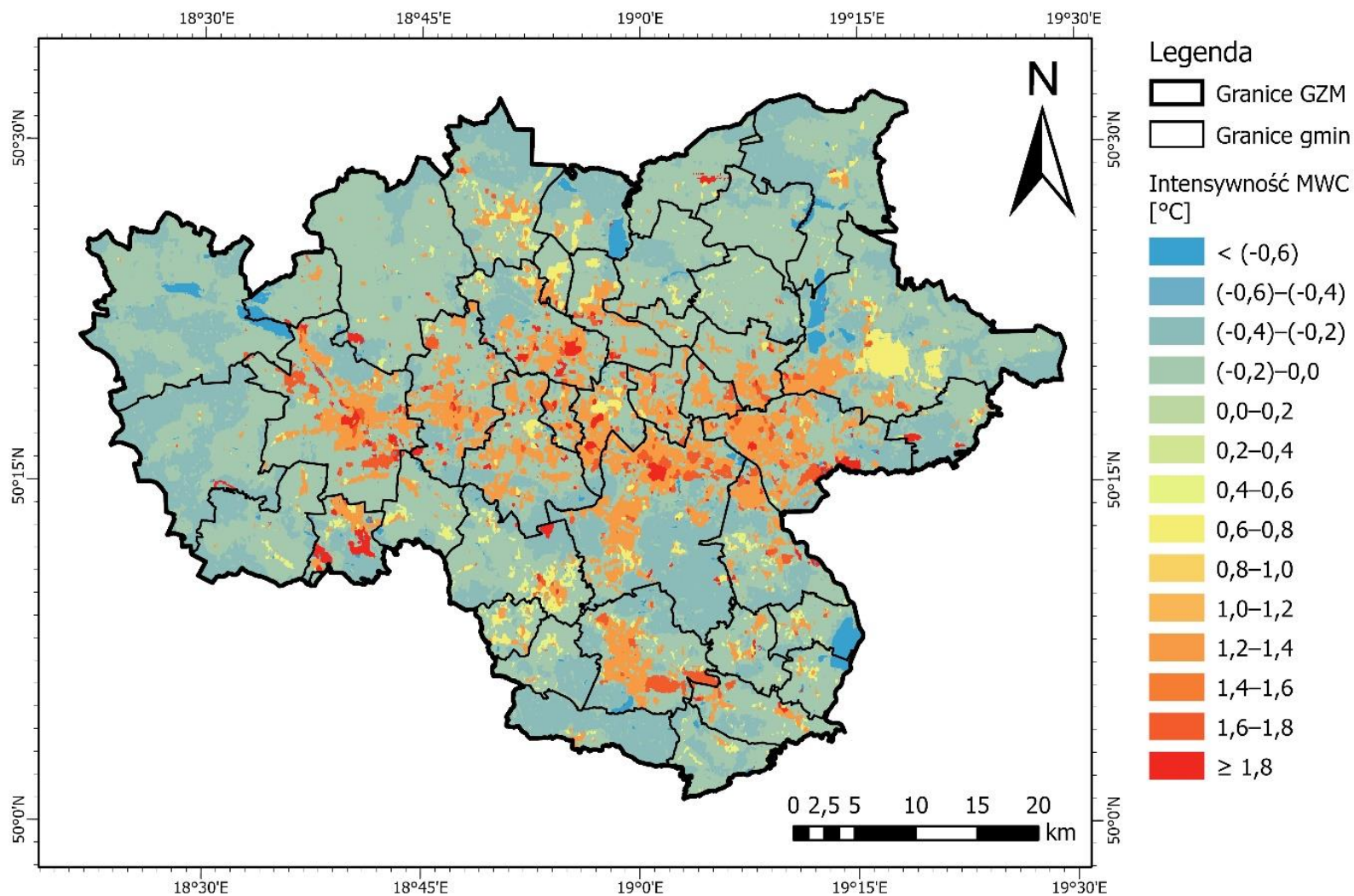
MWC NA OBSZARZE GZM W PÓŁROCZU CIEPŁYM



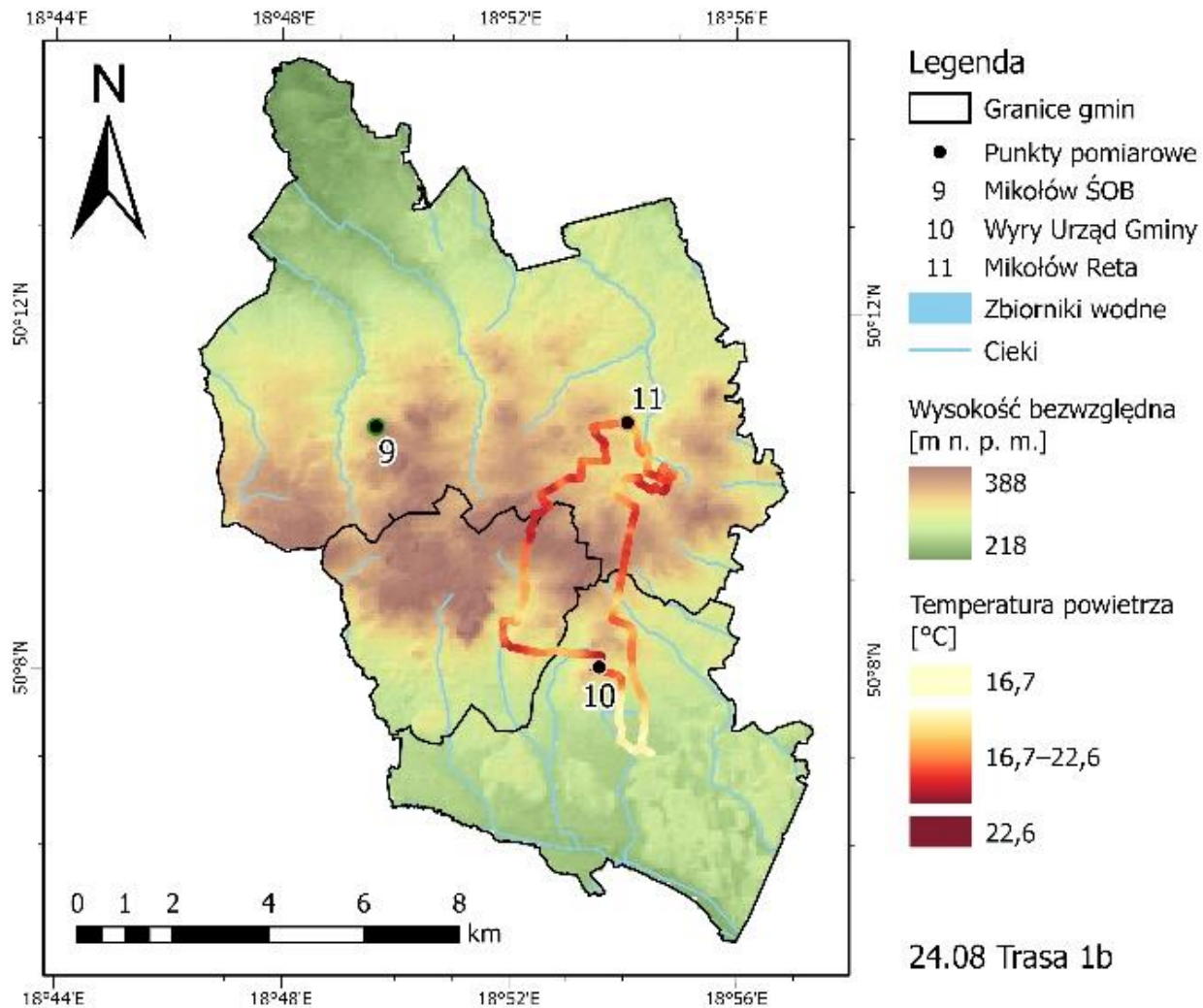
Rozkład intensywności MWC w typach LCZ objętych pomiarami mobilnymi

Typ LCZ	Średni UHI index [°C]
2 (Compact midrise)	1,8
4 (Open high-rise)	1,4*
5 (Open midrise)	1,4
6 (Open low-rise)	0,8
8 (Large low-rise)	1,6
9 (Sparsely built)	0,6
10 (Heavy industry)	0,7
A (Dense trees)	-0,4
B (Scattered trees)	-0,1
D (Low plants)	-0,2
E (Bare rock or paved)	1,8
F (Bare soil or sand)	-0,1*
G (Water)	-0,7

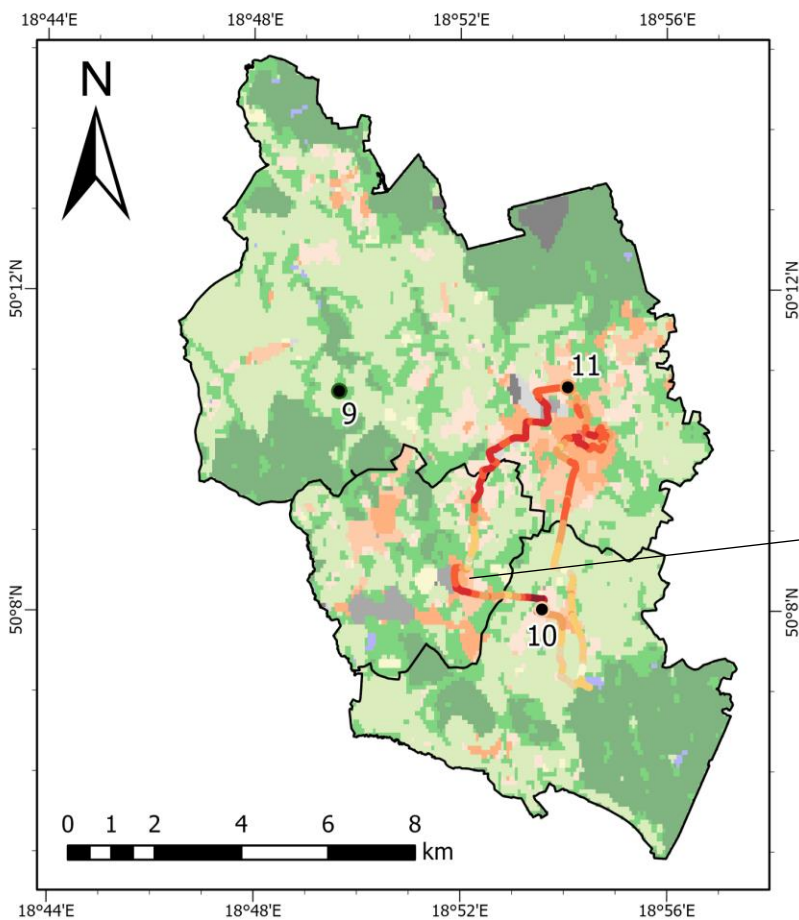
*wartości estymowane



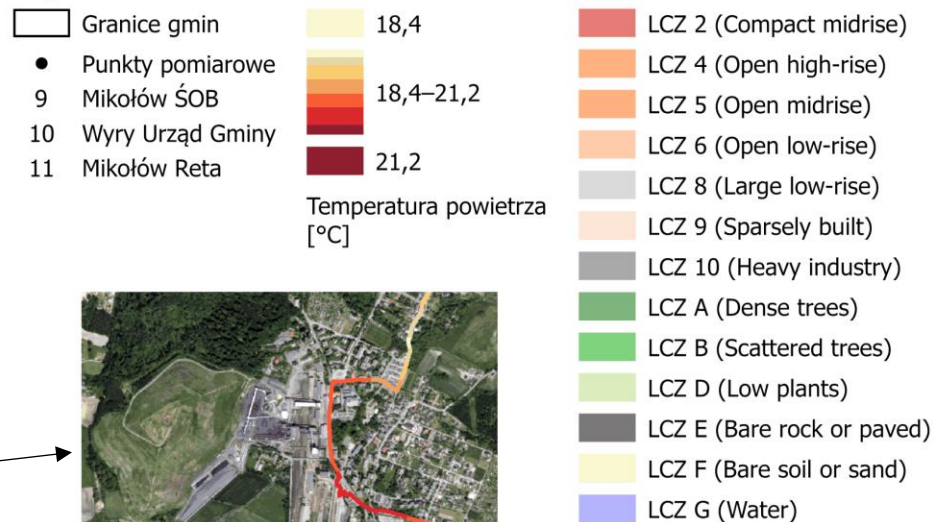
Zasięg przestrzenny MWC na obszarze GZM w godzinach nocnych ciepłej pory roku 2023



Zróżnicowanie termiczne tras pomiarów mobilnych na tle ukształtowania powierzchni i sieci hydrograficznej wybranych gmin powiatu mikołowskiego

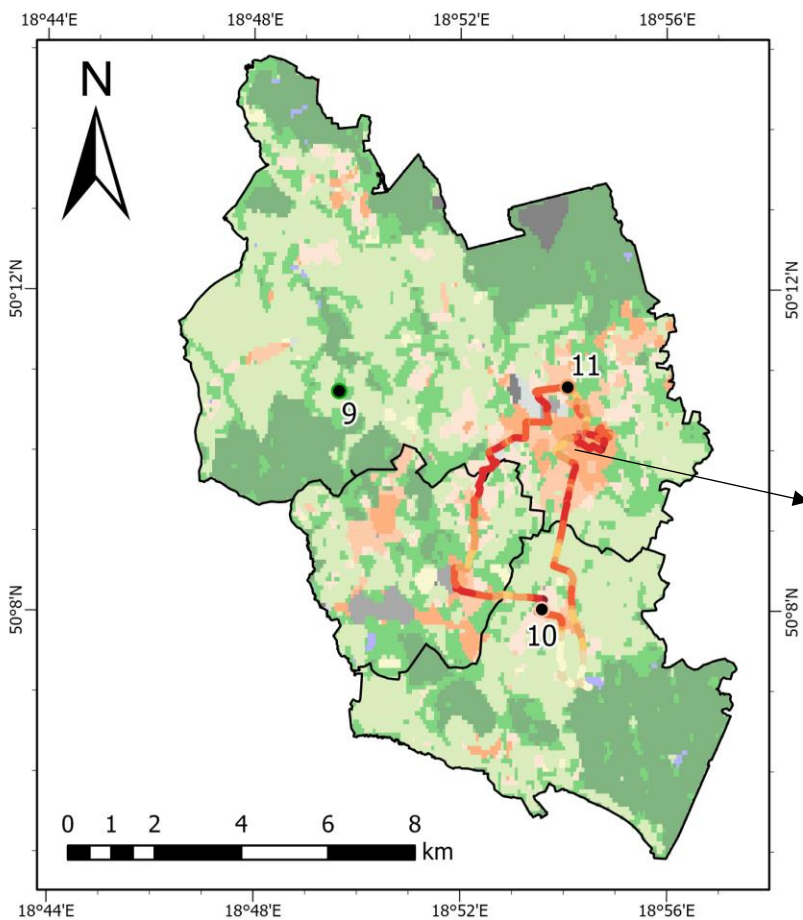


Legenda

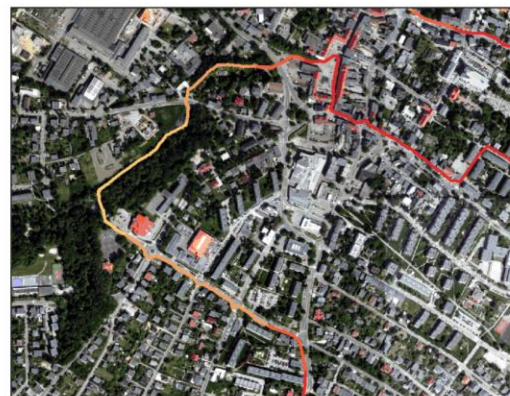
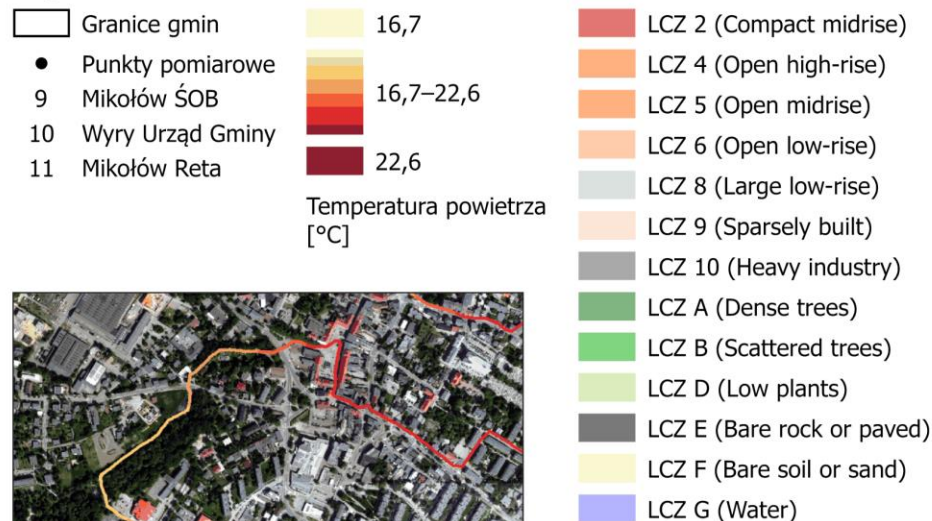


26.08 Trasa 1b

Zróżnicowanie termiczne trasy 1b w dniu 26.08 z wyszczególnieniem okolic KWK „Bolesław Śmiały” w Łaziskach Średnich



Legenda







24.08 Trasa 1b

Zróznicowanie termiczne trasy 1b w dniu 24.08 z wyszczególnieniem centrum Mikołowa wraz z parkami Małe Planty i Duże Planty

W pracy podjęto próbę oceny zasięgu i intensywności miejskiej wyspy ciepła (MWC) na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM) w półroczu ciepłym, stosując *podjęcie dwustopniowe*:

Dla *stacjonarnych punktów pomiarowych*

-  W przypadku dziesięciolecia 2012–2022 wyznaczono intensywność zjawiska dla 4 punktów pomiarowych
-  W przypadku przeciętnego termicznie roku 2023 włączenie nowych punktów pomiarowych pozwoliło na określenie intensywności w 8 punktach (czerwiec)
-  Dokonano analizy wpływu insolacyjno-radiacyjnych warunków pogodowych na wykształcenie się MWC
-  Analizie poddano przebieg temperatury oraz intensywność MWC w przebiegu miesięcznym oraz dobowym

W pracy podjęto próbę oceny zasięgu i intensywności miejskiej wyspy ciepła (MWC) na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM) w półroczu ciepłym, stosując *podjęcie dwustopniowe*:

- Przeprowadzone *przejazdy pomiarowe* pozwoliły na wyznaczenie średniej intensywności MWC w wybranych typach LCZ
 - Na podstawie przeglądu zgromadzonej literatury estymowano wartości intensywności zjawiska dla typów LCZ reprezentowanych na obszarze GZM, lecz nieuwzględnionych w pomiarach mobilnych (LCZ 4 oraz LCZ F)
 - Zebrane w ten sposób wartości pozwoliły na wygenerowanie mapy AMWC na obszarze GZM
 - Ostatnim etapem analizy danych pochodzących z pomiarów mobilnych było określenie wpływu wybranych cech szczególnych GZM na zjawisko MWC, czego dokonano w formie analizy *case studies*

Analiza dostępnej literatury i wyników badań zawartych w pracy pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- MWC na obszarze GZM przyjmuje średnio wartości $1,8^{\circ}\text{C}$ wewnątrz kompleksów gęstej zabudowy śródmiejskiej; $1,4^{\circ}\text{C}$ na obszarach zabudowy mieszkaniowej średniej wysokości, w tym osiedli bloków wielorodzinnych; $0,8^{\circ}\text{C}$ pomiędzy osiedlami zabudowy mieszkaniowej niskiej, jednorodzinnej oraz $0,6^{\circ}\text{C}$ na obszarach zabudowy jednorodzinnej rozproszonej o charakterze podmiejskim.
- Obszarami problemowymi w aspekcie adaptacji do zmian klimatu mogą być obszary przemysłowe oraz towarzyszące im zdegradowane obszary poprzemysłowe. Średnia intensywność MWC na obszarach przemysłowych wynosi $0,7^{\circ}\text{C}$, a w przypadku zwałowisk odpadów powęglowych lub składowisk odpadów poprzemysłowych $1,8^{\circ}\text{C}$.
- Kolejnymi obszarami problemowymi mogą być rozległe strefy usługowo-handlowe, składające się z niskiej zabudowy wielkopowierzchniowej, które rozrastają się w celu zaspokojenia rosnących potrzeb populacji GZM, zajmując coraz większe jej fragmenty. Średnia intensywność zjawiska wynosi tu $1,6^{\circ}\text{C}$.

Analiza dostępnej literatury i wyników badań zawartych w pracy pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- Potencjał łagodzenia niekorzystnych skutków MWC mają liczne na obszarze GZM kompleksy leśne oraz parki śródmiejskie. Obszary gęsto zalesione cechuje intensywność MWC o średniej wartości $-0,4^{\circ}\text{C}$. Duży potencjał adaptacyjny do zmian klimatu wykazują również obszary wodne Górnośląskiego Pojezierza Antropogenicznego, w pobliżu których intensywność MWC przyjmuje średnią wartość $-0,7^{\circ}\text{C}$.
- W dobie postępujących zmian klimatu oraz silnego rozwoju GZM istnieje potrzeba prowadzenia kompleksowego monitoringu zjawiska AMWC. Na potrzeby takich badań na obszarze metropolii powinna powstać jednorodna sieć punktów pomiarowych, których lokalizacja nie pozostawiałaby wątpliwości co do reprezentatywności serii danych. W analizach zróżnicowania termicznego GZM uwzględniany powinien być ponadto czynnik rzeźby terenu, którego wpływ został wyraźnie zauważony w trakcie niniejszych badań. Zalecenia wynikające z badań mikroklimatycznych powinny być implementowane w kierunkach rozwoju GZM, przede wszystkim obejmujących adaptację do zmian klimatu.

Dziękuję za uwagę

Jakub Słotwiński

Diagnozowanie stanu środowiska
i adaptacja do skutków zmian klimatu

Zakład Badań i Rozwoju

Tel. 32 254 60 31 wew. 287

Faks 32 254 17 17

E-mail: j.slotwinski@ietu.pl

Arnfield A. J., 2003, *Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*, International Journal of Climatology, 23 (1): 1–26.

Chandler T. J., 1970, *Selected bibliography on urban climate*, Technical Note No. 155, World Meteorological Organisation, Geneva.

Demuzere M., Kittner J., Bechtel B., 2021, *LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps*, Frontiers in Environmental Science, 9.

Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Gorczyński W., Kosińska S., 1916, *O temperaturze powietrza w Polsce (z mapami izoterm)*, Pamiętnik Fizjograficzny, 23; za: Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Howard L., 1833, *The Climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it*, Harvey & Darton, 1–3, Londyn.

Jastrzębowski W., 1828, *Karta meteorologiczna stolicy Królestwa Polskiego czyli obraz odmian powietrza wystawiający graficznym sposobem najważniejsze wypadki z dostrzeżeń meteorycznych czynionych w Warszawie od 1803 do 1828 roku przez Antoniego Magiera Członka Towarzystwa Królewskiego Warszawskiego Przyjaciół Nauk ułożony i zmianami długości dnia obliczonemi na szerokość jeograficzną Warszawy pomnożony przez Wojciecha Jastrzębowskiego*, Biblioteka Warszawska; za: Fortuniak K., 2019, *Badania klimatu miast w Polsce*, Przegląd Geofizyczny LXIV, 1–2: 73–106.

Kratzer A., 1937, *Das Stadtklima*, Fried. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

- Merecki R., 1915, *Klimatologia ziem polskich*, Drukarnia i Litografia Jana Cotty, Warszawa; za: Fortuniak K., 2003, *Miejska wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Oke T. R., 1982, *The energetic basis of the urban heat island*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108: 1–24.
- Oke T. R., 1987, *Boundary Layer Climates*. Second edition, Routledge, London.
- Oke T. R., Mills G., Christen A., Voogt J. A., 2017, *Urban Climates*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Paszyński J., 1972, *Studies on the heat balance and evaporation*, Geographia Polonica, 22: 35–51.
- Radosz J., 2007, *Zróznicowanie topoklimatyczne miasta Sosnowca* [w:] Jankowski A. T. [red.], *Rocznik Sosnowiecki 2006. Oblicza miasta*, Muzeum w Sosnowcu, Sosnowiec, 29–40.
- Radosz J., 2010, *Topoklimat Katowic na tle charakterystyki środowiska geograficznego*, *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach przemysłowych i zurbanizowanych*, 42: 60–69.
- Szymanowski M., 2003, *Modeling the urban heat island of Wrocław* [w:] Pyka J., Dubicka M., Szczepankiewicz-Szmyrka A., Sobik M., Błaś M. [red.], *Man and climate in the 20th century*, Acta Universitatis Wratislaviensis No 2542, Studia Geograficzne 75: 493–503.
- UN-Habitat, 2022, *World Cities Report 2022. Envisaging the Future of Cities*, United Nations Human Settlements Programme