

Inwentaryzacja obszarów szczególnie wrażliwych (MWC) pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury.

Opracowanie wykonane przez
Wydział Geodezji,
Urzędu Miasta Krakowa
Matusza Durkę

oraz

Wydział Gospodarki Komunalnej i Klimatu
Urzędu Miasta Krakowa
Natalia Gajewską

Opracowanie wykonane w ramach projektu
LIFE-IP EKOMALOPOLSKA „Wdrażanie Regionalnego Planu Działań dla
Klimatu i Energii dla województwa małopolskiego”

Kraków, 2023

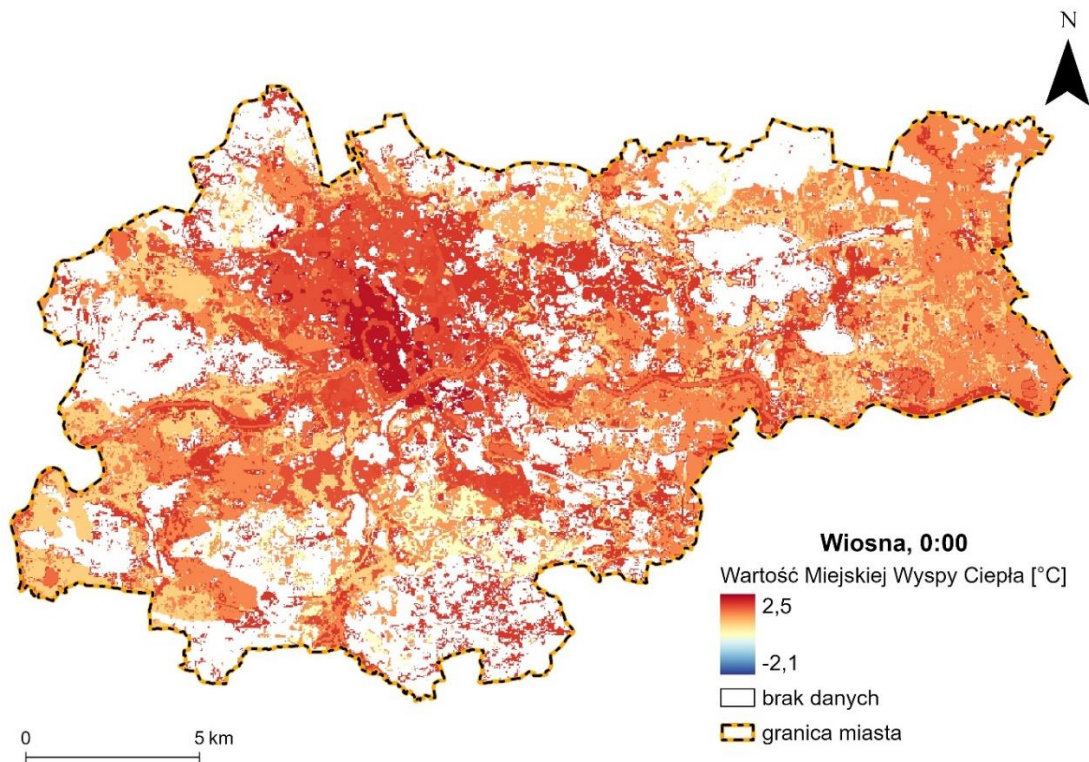
Niniejsze opracowanie powstało jako realizacja działania C4 projektu LIFE-IP EKOMALOPOLSKA „Wdrażanie Regionalnego Planu Działań dla Klimatu i Energii dla województwa małopolskiego” (LIFE-IP EKOMALOPOLSKA / LIFE19 IPC/PL/000005) dofinansowanego ze środków programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Materiał/opracowanie przedstawia wyłącznie poglądy autorów, a Komisja Europejska i Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej nie ponoszą odpowiedzialności za żadne ewentualne wykorzystanie zawartych w nim informacji. Autorzy opracowania: mgr Natalia Gajewska (Urząd Miasta Krakowa, Wydział Gospodarki Komunalnej i Klimatu), oraz mgr Mateusz Durka (Urząd Miasta Krakowa, Wydział Geodezji).

Spis treści

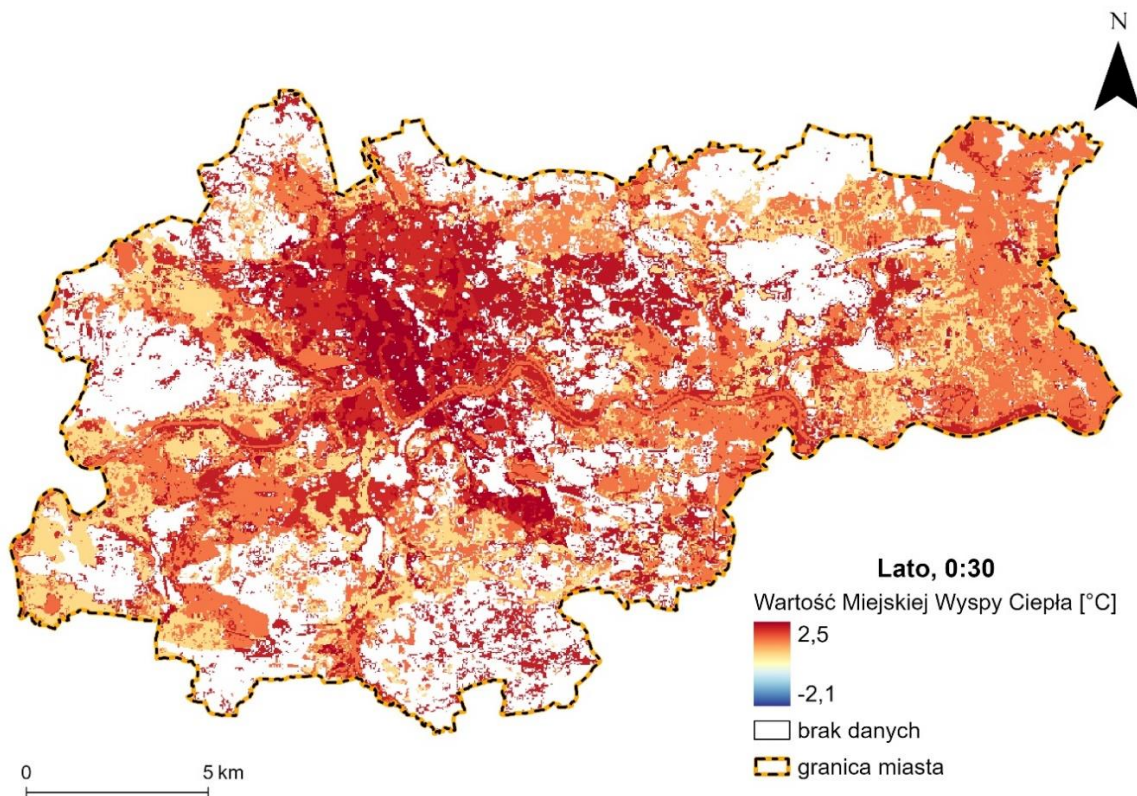
1. Wstęp	3
2. Wybór wskaźników do analizy	6
I. Wskaźnik NDVI	7
II. Zagęszczenie budowli	9
III. Wysokość zabudowy	13
IV. Wysokość zieleni i % pokrycia	17
V. Zameldowania	23
VI. Struktura własności	26
3. Analiza przestrzenna pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury	31
4. Podsumowanie	36
Spis rycin:	37
Spis tabel:	38
Bibliografia:	39

1. Wstęp

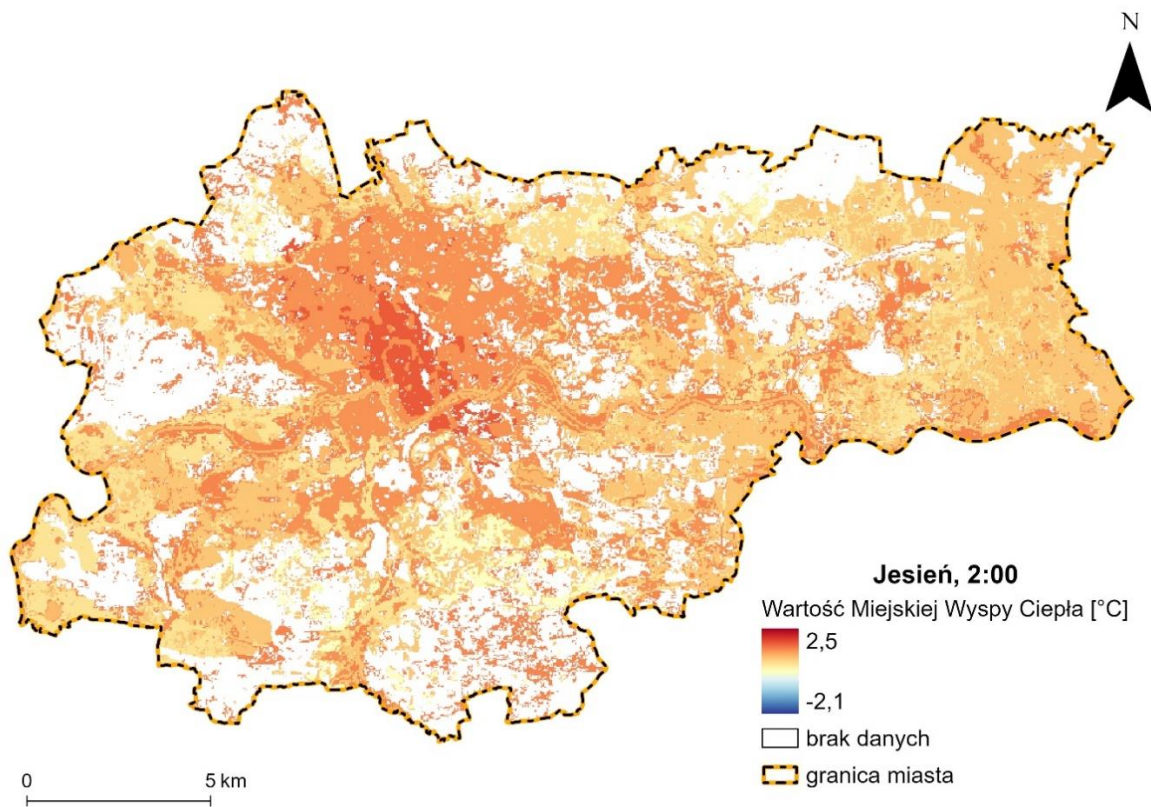
Niniejsze opracowanie powstało w kontynuacji badania „Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie” przeprowadzonego na terenie miasta na podstawie danych z opisującego szczegółową charakterystykę zjawiska miejskiej wyspy ciepła, występującego na przekształconych antropogenicznie terenach miejskich. Ekspertyza powstała w ramach projektu LIFE-IP EKOMALOPOLSKA „Wdrażanie Regionalnego Planu Działań dla Klimatu i Energii dla województwa małopolskiego” (LIFE-IP EKOMALOPOLSKA / LIFE19 IPC/PL/000005) dofinansowanego ze środków programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Badanie to pozwoliło wydzielić obszary, które w największym stopniu narażają mieszkańców Krakowa na nadmierne obciążenie cieplne, w tym na intensyfikację fali upałów i nocy tropikalnych. Uzyskane analizy i wyniki badań pokazują, że największe wartości dodatnie MWC (miejskie wyspy ciepła) są charakterystyczne dla pory nocnej. Dodatkowo dane z godzin nocnych pokazują, że w Krakowie należy raczej mówić o archipelagu miejskich wysp ciepła niż o jednej MWC. Można zatem stwierdzić, że dużych dodatnich wartości intensywności MWC, oznaczających, że temperatura powietrza w mieście jest znacznie wyższa niż poza miastem, można spodziewać się na całym obszarze miasta, ale znacznie częściej w dzień doliny niż na terenach wyżej położonych, przede wszystkim na terenach gęsto zabudowanych (Bokwa, 2023). Aby zwiększyć komfort termiczny mieszkańców Krakowa, powstało zapotrzebowanie na opracowanie, które pozwoli stworzyć analizę przestrzenną pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury. Finalnie będą one miały na celu zmniejszenie średniej temperatury powietrza w obszarach, na których występuje zjawisko miejskiej wyspy ciepła. Analizy w przeprowadzonej ekspertyzie MWC pokazują, że duże dodatnie wartości miejskiej wyspy ciepła są charakterystyczne szczególnie dla pory nocnej (Ryc. 1, Ryc. 2, Ryc. 3, Ryc. 4). Niniejsza analiza będzie obejmować dane dot. m.in: promieniowania słonecznego, wskaźnika NDVI, zagęszczenia budynków(kaniony uliczne), wysokości zabudowy (szorstkość podłoża), wysokość zieleni i jej gęstości oraz własności gruntu. Na podstawie powyższych danych została sporządzona analiza przestrzenna pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury.



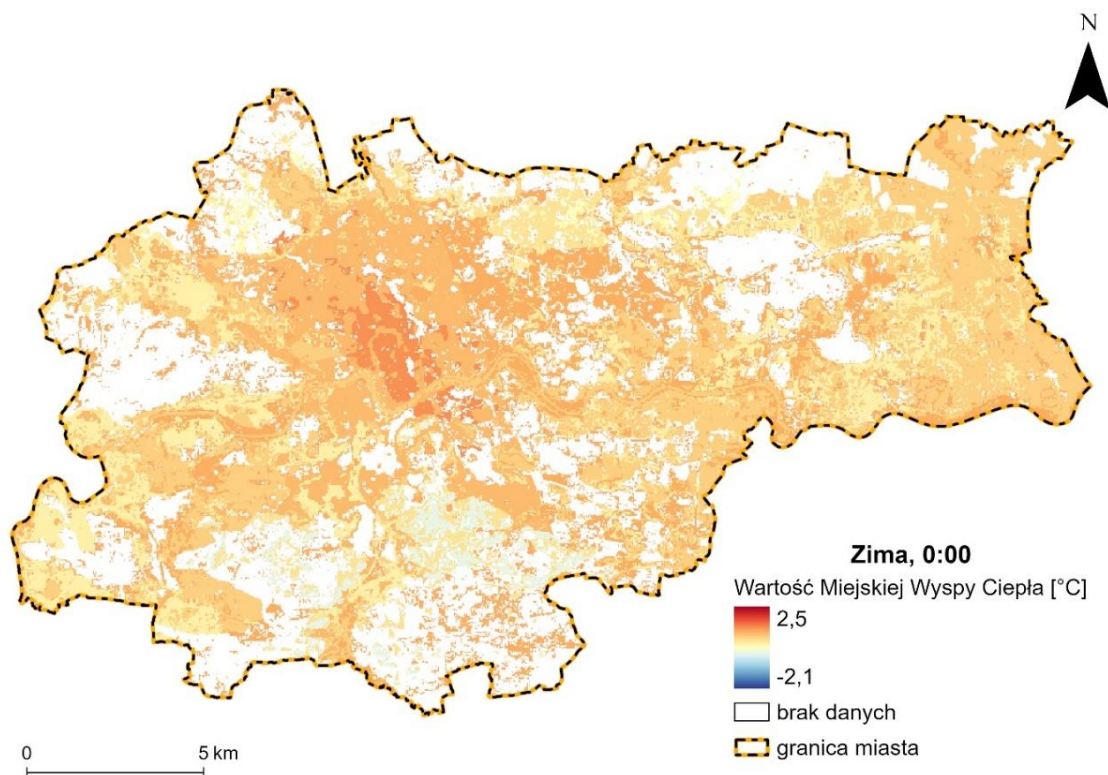
Rycina 1. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie wiosną w godzinach nocnych (czas UTC).



Rycina 2. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie latem w godzinach nocnych (czas UTC).



Rycina 3. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie jesienią w godzinach nocnych (czas UTC).



Rycina 4. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie zimą w godzinach nocnych (czas UTC).

2. Wybór wskaźników do analizy

W celu wytypowania obszarów miasta, na których mogłyby w pierwszej kolejności powstać inwestycje błękitno-zielonej infrastruktury, przeprowadzono analizę przestrzenną terenów w granicach administracyjnych Krakowa pod kątem narażenia ich na występowanie wysokiej temperatury powietrza. Jak wykazały badania, wzrost śmiertelności jest skorelowany ze wzrostem częstości i czasu trwania fal upałów, a szczególnie narażeni na ich negatywne skutki są mieszkańcy miast (Graczyk i in. 2017, 2022). Bazując na kwerendzie publikacji naukowych i badań oraz dostępności danych, obliczono wskaźnik w postaci średniej ważonej, wyrażonej wzorem:

$$W = 15\% \text{ NDVI} + 15\% \text{ ZG} + 25\% \text{ ZW} + 25\% \text{ BG} + 20\% \text{ BW}$$

gdzie:

W – wynik analizy,

NDVI – wskaźnik NDVI,

ZG – procentowe pokrycie roślinnością,

ZW – średnia wysokość roślinności,

BG – procentowe pokrycie zabudową,

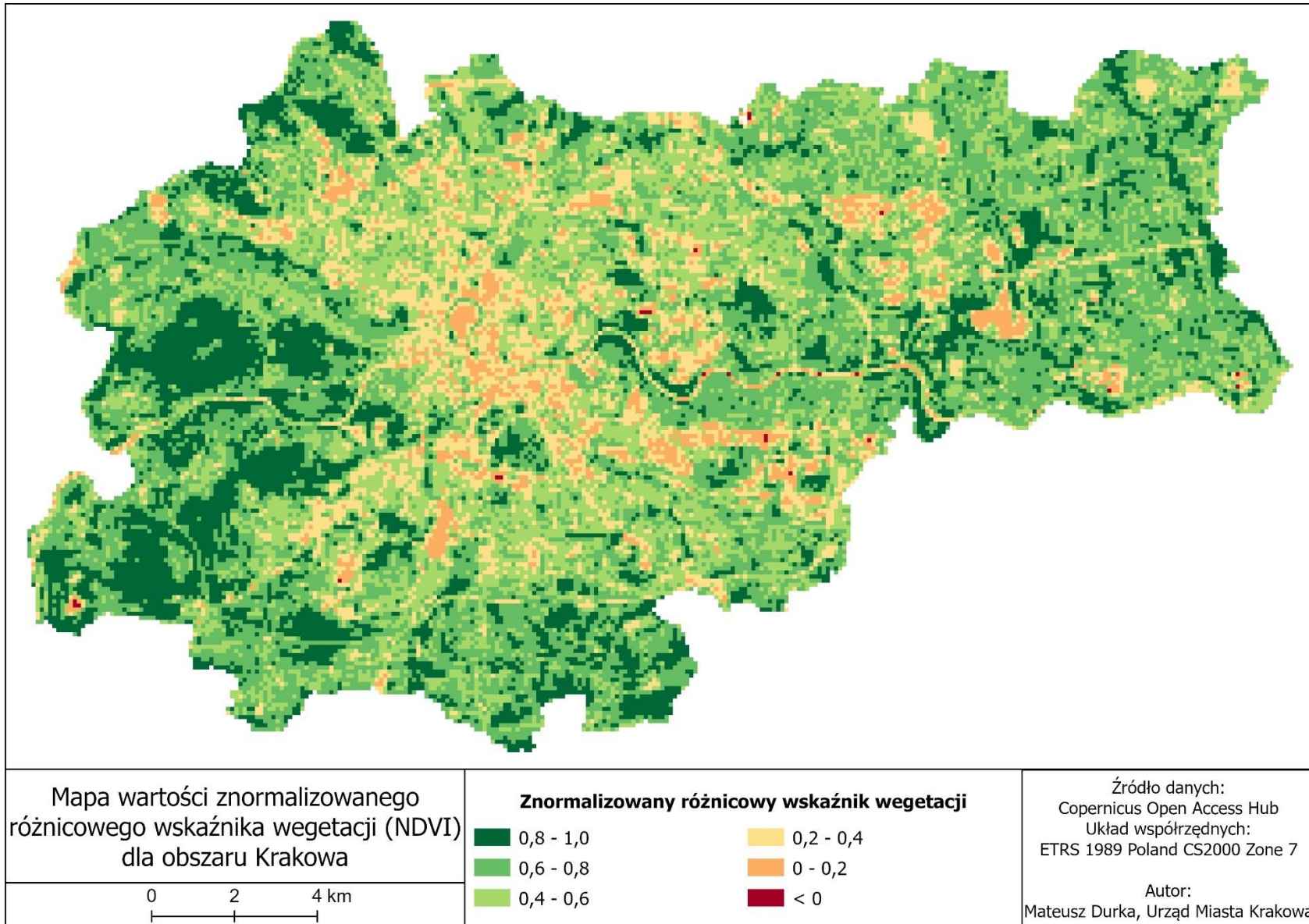
BW – średnia wysokość zabudowy.

Należy jednak mieć na uwadze, że niemożliwym jest stworzenie wskaźnika, który byłby uniwersalny dla każdego typu pogody, warunków anemologicznych, pory dnia itp. Przyjęto więc założenie, że wskaźnik będzie obliczany dla ciepłej pory roku, dziennej pory dnia i typu pogody, który stwarza warunki sprzyjające występowaniu wysokich wartości temperatury powietrza, czyli pogody insolacyjno-radiacyjnej (pogoda słoneczna i bezchmurna, wiatr słaby lub brak, duże wartości ciepła gromadzone przez powierzchnię czynną w trakcie dnia i wypromieniowywane w nocy). Analizę przeprowadzono dzieląc obszar administracyjny Krakowa na siatkę kwadratów o boku 100 metrów. Wszystkie dane o dokładniejszej rozdzielczości przestrzennej zostały zgeneralizowane i dostosowane do wymiarów siatki kwadratów.

I. Wskaźnik NDVI

Warstwa GIS - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) jest to warstwa, która przedstawia wartości NDVI dla wybranego obszaru – w tym przypadku Krakowa (Ryc. 5). NDVI to miara zdolności roślinności do fotosyntezy i przyswajania energii słonecznej. Wskaźnik ten jest obliczany na podstawie różnicy widzialnej absorpcji promieniowania przez chlorofile w zakresie czerwonym i podczerwonym. Jest to jeden z najbardziej popularnych wskaźników określających zdrowie i kondycję roślin, stosowanych w analizie obrazów satelitarnych. Warstwa ta jest uzyskiwana poprzez przetworzenie zdjęć satelitarnych z wykorzystaniem odpowiedniego oprogramowania GIS. W wyniku tego procesu powstaje mapa, na której w zależności od koloru reprezentowane są różne wartości NDVI - od najniższych (czerwony < 0) do najwyższych (ciemno zielony 0,8 – 1,0). Dzięki takiemu przedstawieniu możliwe jest porównanie stanu zdrowia roślinności na różnych obszarach oraz wykrywanie potencjalnych problemów związanych z jej kondycją. Warstwa GIS przedstawiająca NDVI jest też szczególnie przydatna dla rolnictwa, gdyż pozwala na ocenę umiejscowienia upraw, identyfikowanie chorób i szkodników oraz kontroli jakości i ilości plonów. Jest także wykorzystywana w celu monitorowania stanu lasów, badań klimatycznych i do modelowania zmian środowiskowych (Turlej, 2009).

Dzięki temu, że NDVI prezentuje biologicznie czynną powierzchnię, pozwala ona na ocenę ogólnego stanu środowiska miejskiego, identyfikację obszarów o niskim wskaźniku np. miejsca gdzie potrzebna jest rewitalizacja obszarów zielonych, nieużytki czy tereny zanieczyszczone. W Krakowie najniższe wartości wskaźnika NDVI (0 – 0,4) występują na Starym Mieście i wokół niego (z wyłączeniem Plant). Tak niskie wartości wskaźnika wegetacji w centrum miasta nie są spowodowane niską jakością zieleni, ale jej niedostatkiem w tym regionie miasta. Ostatecznie, im mniej roślin, tym niższy wskaźnik NDVI. Terenami w Krakowie, które również charakteryzują się niewielkimi wartościami wskaźnika wegetacji jest osiedle Nowa Huta. Jest to zarazem dzielnica przemysłowa o dużej % powierzchni pokrycia terenu budynkami (Ryc. 7). Podobne wartości występują również w innych regionach miasta, gdzie udział powierzchni antropogenicznych jest znaczący. Omawiając wskaźnik NDVI warto jest również zwrócić uwagę na niskie wartości terenów wodnych, takich jak koryto Wisły, Przylasek Rusiecki czy Zalew Budzyński pod Cholerzynem i in. Związane jest to z absorpcją promieniowania słonecznego terenów wodnych, co wpływa na zmniejszenie wartości tego wskaźnika. Mapa NDVI pokazuje miejsca, które powinny być brane pod uwagę przy planowaniu działań rewitalizacyjnych lub poszerzaniu zielonych obszarów w mieście.



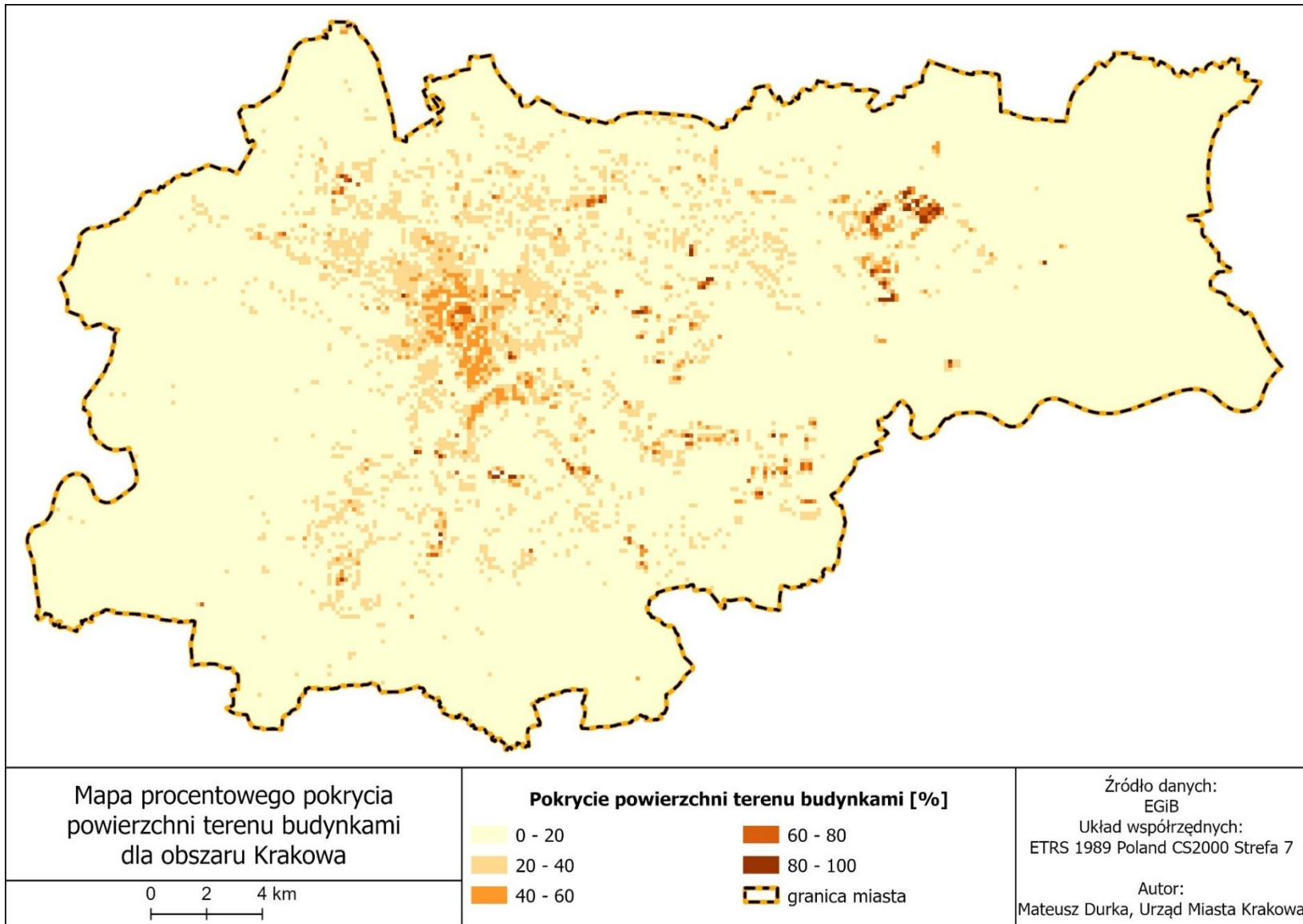
Rycina 5. Wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji (NDVI) dla obszaru Krakowa.

II. Zagęszczenie budowli

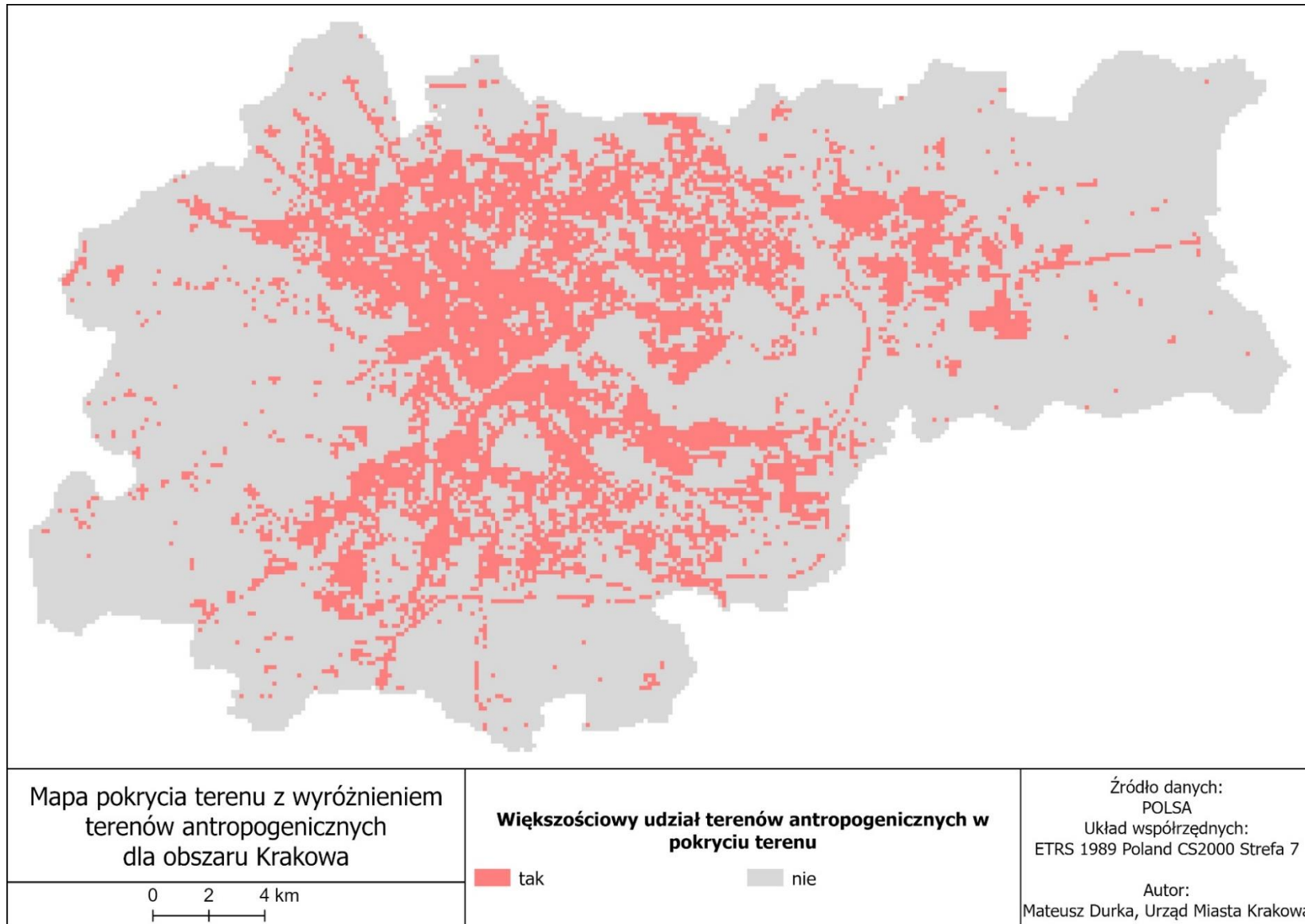
Gęstość zabudowy ma duży wpływ na potęgowanie zjawiska miejskiej wyspy ciepła. Im większa liczba budynków i gęstsza infrastruktura miejska, tym większa ilość ciepła jest się w stanie gromadzić na tym obszarze. Jest to spowodowane gromadzeniem się ciepła z różnych źródeł, takich jak m.in. samochody, fabryki czy wydzielanie ciepła przez budynki (ogrzewanie w zimę). Im większa liczba budynków i zagęszczenie infrastruktury miejskiej, tym większa ilość ciepła zgromadzonego na tym obszarze. Zabudowując przykładowy teren o powierzchni 100m x 100m zwiększamy powierzchnię cieplną nie tylko o dach, który już sam w sobie ma odmienne albedo, ale i o dodatkowe powierzchnie ścian. W konsekwencji powstawanie nowej zabudowy kilkukrotnie zwiększa powierzchnię absorbującą ciepło. Jeśli ściany i dach budynku są wykonane z materiałów o niskim albedo, takich jak np. ciemne płyty betonowe, to wchłoną one dodatkowe ciepło i przyczynią się do wzrostu temperatury wokół budynku. Ciemne elewacje wysokich obiektów wymagają więcej sztucznego oświetlenia, co prowadzi do zwiększonej emisji ciepłarnianej ze źródeł energii. Natomiast jeśli ściany budynku wykonane są z materiałów o wysokim albedo, takich jak białe farby czy płyty dachowe, to będzie odwrotnie. Będą odbijać więcej promieniowania słonecznego i obniżać temperaturę. Wniosek jest taki, że postawienie budynku może mieć różny wpływ na albedo w zależności od koloru materiałów użytych do jego budowy. Aby zminimalizować efekt cieplarniany, należy wybierać jasne kolory i materiały o wysokim albedo. Z tego powodu, obszary o dużej gęstości zabudowy są zazwyczaj bardziej narażone na zjawisko miejskiej wyspy ciepła niż tereny mniej zabudowane. Duża gęstość zabudowy ma także wpływ na redukcję ucieczki ciepła z miasta. Ze względu na mniejszą ilość przestrzeni, ciepło z budynków łatwiej przenika do otoczenia, a wiatr staje się mniej efektywny w odprowadzeniu ciepła z miasta. To zjawisko zwane jest efektem **kanionu ulicznego** i polega na tym, że wąskie ulice między wysokimi budynkami utrudniają przepływ powietrza i powodują nagrzanie powietrza znajdującego się w kanionie ulicznym. W efekcie, temperatura w obszarze miasta może być nawet o kilka stopni wyższa niż w okolicznych miejscowościach. Co więcej, kaniony uliczne ograniczają również ilość naturalnego światła słonecznego, które dociera do powierzchni ziemi, co wpływa na rozwój roślin i innych form życia miejskiego. W związku z powyższym, utrzymywanie umiarkowanej gęstości zabudowy oraz tworzenie terenów zielonych i otwartych przestrzeni może pomóc w redukcji zjawiska miejskiej wyspy ciepła i poprawie jakości życia w mieście. Zielone dachy, parki, ogródki miejskie czy nawet niewielkie skwery mogą przyczynić się do obniżenia

temperatury w obszarze miejskim poprzez tzw. efekt chłodzący. Rośliny absorbują ciepło i wilgoć z powietrza, co pomaga obniżyć temperaturę wokół siebie. Ponadto, mniejsza gęstość zabudowy i większa ilość terenów zielonych sprzyjają przepływowi powietrza, co przyczynia się do redukcji efektu kanionu ulicznego. W efekcie, miasta stają się bardziej przyjazne dla mieszkańców, a także korzystne dla środowiska.

Jeśli chodzi o procentowe pokrycie powierzchni terenu budynkami (Ryc. 6), to największą gęstością zabudowy charakteryzują się: Stare Miasto, Grzegórzki, Krowodrza, Podgórze, Bronowice oraz Nowa Huta. Jeśli przeanalizujemy miasto pod kątem większościowego pokrycia terenu, to przeważają tereny antropogeniczne. Wyróżnienie terenów antropogenicznych zostało wykonane na bazie mapy pokrycia terenu dla 2021 roku, stworzonej przez Polską Agencję Kosmiczną (Ryc. 7). Dane zostały zgeneralizowane do pola podstawowego siatki kwadratów o boku 100 metrów. Jak widać na załączonej mapie, tereny te zajmują dużą część Krakowa. Jedynie wschodnia i zachodnia część doliny Wisły została niezbudowana. Wyraźnie widać, że miasto poszerzało swoje granice głównie w kierunku wschód-zachód, jednak intensywny rozwój zabudowy odbywał się w kierunku północ-południe. Pierwszym ważnym etapem rozszerzenia granic Krakowa było ich poszerzenie o Kazimierz w XIII wieku. W 1915 roku do granic miasta przyłączono Bieńczyce, w 1917 roku Wieliczkę, w 1923 roku Skawinę, w 1934 roku Bronowice oraz Nową Hutę. Po II wojnie światowej w 1951 roku do Krakowa przyłączono dzielnice Czyżyny, Ruczaj i Prądnik Czerwony. Aktualnych 18 dzielnic Krakowa, zostało wytyczonych w 1991 roku, w dużej mierze w oparciu o kryterium poszanowania dawnych, tradycyjnych obszarów lokalnych „małych ojczyzn”, symbolicznie ujmując dziedzictwa wpisanego w strukturę miasta. Do terenów antropogenicznych zaliczamy: zabudowę mieszkaniową i publiczną, centra handlowe, drogi, tereny przemysłowe, ale i tereny rekreacyjne oraz inne tereny, które w jakimkolwiek stopniu zostały przekształcone przez działalność człowieka.



Rycina 6. Procentowe pokrycie powierzchni terenu budynkami dla obszaru Krakowa.



Rycina 7. Mapa pokrycia terenu z wyróżnieniem terenów antropogenicznych dla obszaru Krakowa.

III. Wysokość zabudowy

Intensywność wzrostu temperatury na obszarze miejskim zależy od kilku czynników. Wysokość zabudowy jest jednym z nich. Im wyższa jest zabudowa, tym większa jest możliwość nagrzewania się tych budowli przez promieniowanie słoneczne i absorbowanie przez nie dodatkowej energii cieplnej. Wysokie budynki przyczyniają się do zwiększenia temperatury ponad poziomem Ziemi, na wysokościach gdzie w naturalnych warunkach nie występują powierzchnie gromadzące ciepło, są one w stanie gromadzić ciepło w ich bezpośrednim otoczeniu. Akumulacja ciepła w obszarze miejskim prowadzi więc jednocześnie do wzrostu kosztów klimatyzacji. Wysokie budynki zmieniają kierunek i prędkość wiatru wokół siebie, zwiększając jednocześnie turbulencyjne ruchy powietrza. Warto tutaj również wspomnieć o dodatkowych pojęciach powstałych i dodanych do zagadnień związanych z klimatologią miejską, mowa tu na przykład o „warstwie dachowej”. Jest to warstwa atmosfery rozprzestrzeniająca się od poziomu gruntu do poziomu dachów budynków. Procesy klimatyczne zachodzące w tej warstwie są bezpośrednio uzależnione od poziomu albedo, warunków cieplnych budynków oraz podłoża (Oke, 1976, 1987). Ponad warstwą dachową znajduje się kolejna warstwa atmosferyczna o podłożu antropogenicznym tzw. „warstwa kominowa”. Związana jest ona z emisją zanieczyszczeń i dodatkowego ciepła przez zakłady przemysłowe i energetyczne w ciągu całego roku oraz dodatkową emisję ciepła z kominów produkowanego głównie w okresie grzewczym przez mieszkańców miasta (Lewińska, 1991, 2000). Cała struktura urbanistyczna miasta stanowi pewnego rodzaju barierę dla swobodnie przemieszczających się mas powietrza. Powietrze napływające na obszar miejski zwalnia i napotyka opór w postaci gęsto zabudowanych wysokich budowli. Takie zjawisko określa się jako „szorstkość miasta” (Grimmond, Oke, 1999).

Wartość szorstkości wyrażana jest wzorem (Lettau, 1969):

$$z^0 = 0,5h * PZ/PC$$

z^0 = szorstkość terenu,

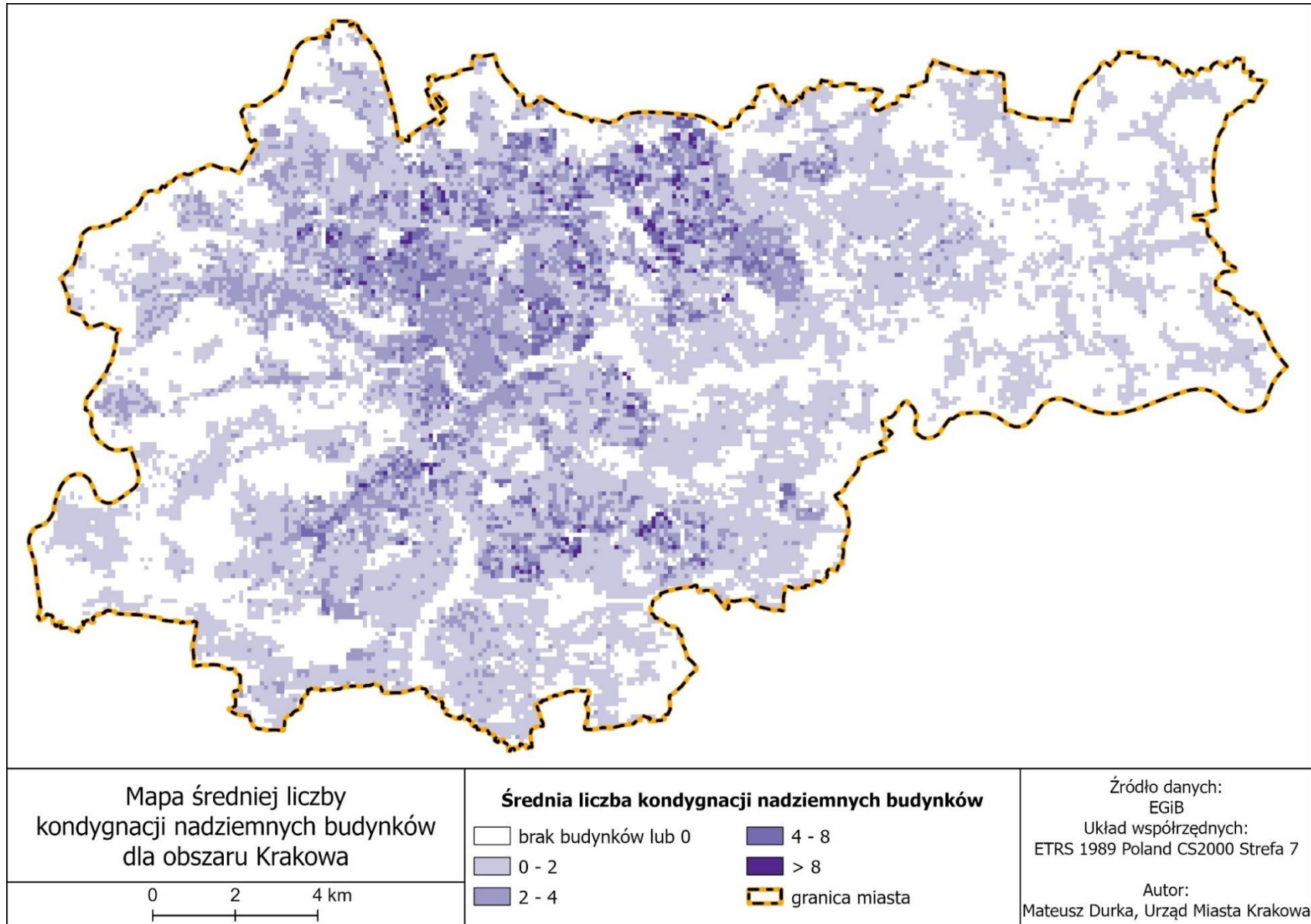
PZ = powierzchnia zabudowana,

PC = powierzchnia całkowita.

Im większa szorstkość terenu, tym większy spadek prędkości wiatru. W porównaniu z terenami otwartymi prędkość wiatru w miastach jest redukowana o około 70-90%. Współczynnik szorstkości w centrum dużych miast wynosi od 2 do 4 m, w centrum małych miast oraz lasów współczynnik ten wynosi od 1,0 do 1,5 m. Na terenach otwartych szorstkości jest najmniejsza i wynosi od 0,01 do maksymalnie 0,20 m (Oke, 1979). Każde miasto charakteryzuje się innym parametrem wskazanych wartości, z uwagi na odmienność struktury urbanistycznej. Im większa szorstkość, tym bardziej wzmożone prawdopodobieństwo występowania, szczególnie w nocy, turbulencyjnych ruchów powietrza, a co z tym idzie równowaga powietrza w mieście jest częściej chwiejna niż stała. Wpływa to na samopoczucie ludzi zamieszkujących miasto (Liszewski, 2012). Oprócz tego, wysoka zabudowa może ograniczać dostęp do naturalnego światła słonecznego, co może zwiększa zapotrzebowanie na energię elektryczną do oświetlenia budynków i infrastruktury, przyczyniając się do zwiększenia zużycia energii elektrycznej w mieście. Z drugiej strony wyższe budowle zwiększają również zacienianie, które same powodują. Dlatego istotną rolę odgrywa tutaj odpowiednia orientacja budynków na strony świata, z uwagi na czynniki: klimatyczne, ekonomiczne i zdrowotne. Dobry projekt architektoniczny powinien uwzględniać naturalne warunki, takie jak kierunek wiatru, nasłonecznienie i występowanie naturalnych zacienień, aby zminimalizować koszty związane z ogrzewaniem, chłodzeniem i oświetleniem budynku. Budynki zwrócone w stronę południową otrzymują więcej światła słonecznego i ciepła, co pozwala na zredukowanie kosztów związanych z oświetleniem i ogrzewaniem. Dzięki temu można również zredukować emisję CO₂ i ślad węglowy budynków. Odpowiednia orientacja budynków może również wpłynąć na zdrowie mieszkańców. Badania wykazały, że odpowiednie nasłonecznienie wnętrza może poprawić nastrój i koncentrację. W przypadku budynków użyteczności publicznej, takich jak szkoły czy biura, odpowiednia orientacja może wpłynąć na jakość pracy i nauki.

Podsumowując, odpowiednia orientacja budynków jest kluczowa dla osiągnięcia pożądaných efektów w zakresie efektywności energetycznej, komfortu mieszkańców oraz zrównoważonego rozwoju. Analizując wysokość zabudowy w mieście określa się średnie przedziały liczby kondygnacji budynków nadziemnych oraz ich rozmieszczenie w tkance miejskiej. Powstawanie zgrupowań „wyspowych”, czyli zespołów około dziesięciu budynków mieszkalnych bądź mieszkalno-usługowych jest podstawową strukturą współczesnych miast.

Mapa średniej liczby kondygnacji naziemnych budynków dla obszaru Krakowa (Ryc. 8) pokazuje, że najwyższa zabudowa tzn. >8 kondygnacji naziemnych znajduje się na osiedlach miejskich: Bronowice, Krowodrza, Prądnik Biały, Prądnik Czerwony, Grzegórzki, Mistrzejowice, Czyżyny, Bieńczyce, Łagiewniki – Borek Fałęcki, Podgórze Duchackie czy Bieżanów – Prokocim. Więcej wysokiej zabudowy znajdują się w północnej aniżeli w południowej części Krakowa. Warto zwrócić tutaj również uwagę na brak dużej liczby kondygnacji w centrum miasta, jest to uwarunkowane występowaniem tam zwartej zabudowy historycznej o wysokości do 4 kondygnacji. Mapa ze średnią liczbą kondygnacji pokrywa się z mapą o większościowym udziale terenów antropogenicznych w pokryciu terenu (Ryc. 8). To zobrazowanie ponownie pokazuje, że zabudowa mieszkalna jest bardziej rozbudowana w kierunku północ-południe aniżeli wschód-zachód.



Rycina 8. Średnia liczba kondygnacji naziemnych dla obszaru Krakowa.

IV. Wysokość zieleni i % pokrycia

Największe znaczenie dla klimatu miejskiego mają wielkoobszarowe tereny zielone, szczególnie te, które porastają co najmniej kilkudziesięcioletnie drzewa. Wydajność biologiczna jednego 100-letniego buku jest porównywalna z wydajnością 1 700 młodych buków o średnicy korony wynoszącym około 1 metra. W związku z tym tereny zielone porośnięte wiekowymi drzewami mają znacznie większe znaczenie dla miasta niż nawet wielkoobszarowe obszary porośnięte młodą roślinnością. Jednym z zadań roślin jest **produkcja tlenu i pochłanianie dwutlenku węgla** w procesie fotosyntezy. Ilość produkowanego dwutlenku węgla przy oddychaniu w stosunku do pochłanianego przez rośliny w procesie fotosyntezy w ciągu doby wynosi 1/5 - 1/3 (Czerwieniec, Lewińska, 1996). Obliczono również, że jedna 60 - letnia sosna produkuje w ciągu doby tyle tlenu, ile potrzebują do oddychania 3 osoby.

Rola zieleni nie kończy się tylko na pochłanianiu CO_2 . Lasy czy parki miejskie **modyfikują stosunki termiczne**. W okresie lata nawierzchnia asfaltowa może ogrzać się nawet do temperatury $60^{\circ}C$, podczas gdy powierzchnia trawnika w tym samym czasie ma temperaturę $25^{\circ}C$, a gleba $20^{\circ}C$. Dzieje się tak dlatego, że asfaltowe, betonowe, kamienne powierzchnie dróg, dachów i ścian budynków są głównymi obszarami akumulującymi ogromne ilości ciepła (Zimny, 2005). Rynek w Krakowie jest praktycznie pozbawiony przestrzeni zielonych, które są w stanie odpowiednio łagodzić temperatury w tej części miasta. Jednakże, w miastach czasami brakuje przestrzeni do stworzenia dużych obszarów zielonych. W takim przypadku, tworzenie skwerów, parków kieszonkowych i parków osiedlowych oraz instalowanie roślinności na dachach i ścianach budynków jest ważne dla zapewnienia mieszkańcom dostępu do zieleni i korzyści, które ona oferuje. Średnia temperatura dobową jest niższa w stosunku do otwartej przestrzeni miasta odpowiednio o:

- 20,3% na obszarze leśnym,
- 13,5% w parku miejskim,
- 6,9% w parku kieszonkowym (Czerwieniec, Lewińska, 1996).

Tereny zieleni miejskiej zawierają stosunkowo dużo wilgoci w stosunku do zurbanizowanych obszarów miejskich. Rośliny **uwalniają parę wodną do powietrza** w procesie transpiracji. Tereny zabudowane są ubogie w wodę oraz charakteryzują się nadmiernym spływem powierzchniowym. Po opadach z przestrzeni nieprzepuszczalnych woda szybko spływa do kanalizacji, a często jest tam bezpośrednio celowo kierowana rynnami, przez co cała ucieka z miasta. Z tego względu w ciągu doby wilgotność względna w parkach jest wyższa niż poza nimi, w porze chłodnej średnio o 3-8%, a w porze ciepłej o 5-20%. Im bujniejsza i wyższa roślinność oraz większe zacienienie, tym wyższa wilgotność względna powietrza. Pas roślinności zbudowanej z drzew i krzewów, o szerokości 10 metrów, zwiększa wilgotność względną powietrza o 80% i więcej (Czerwieniec, Lewińska, 1996). Tak gęsty i szeroki pas drzew można również traktować jako **działanie wiatrochronne**. Najniższe wartości prędkości odnotowuje się w odległości 3-5-krotnej wysokości drzew po stronie zawietrznej. Strefa z osłabieniem prędkości ciągnie się do odległości równej 30-krotnej wysokości pasa zadrzewień (www.widsystem.pl).

Jeśli chodzi o **redukowanie zanieczyszczeń** produkowanych przez przemysł, to najlepszymi naturalnymi filtratorami powietrza są: wiąz (10,16 g/m²) i lipa (8,62 g/m²) oraz klon, dąb szczypułkowy, sosna, grab, jesion, osika i bez lilak. Budowa morfologiczna powierzchni blaszek liściowych, kory pni i gałęzi może potęgować efekt filtrowania zanieczyszczeń. Przyczepność pyłów do powierzchni igieł i liści jest wysoka (Orzeszek - Gajewska, 1982). Badania Landsberg (1981, s. 285) ukazały, że stopień zmienności substancji zanieczyszczających powietrze atmosferyczne w mieście jest większy odpowiednio o:

- 5-25 razy – zanieczyszczenia gazowe,
- do 10 razy – zanieczyszczenia pyłowe.

Rodzaj emitowanych zanieczyszczeń jest odmienny w zależności od rodzaju działalności wytwórczej, jaka prowadzona jest na terenie zakładów, takich jak: huta (pyły metaliczne, CO), rafineria (węglowodory siarki, chloru, aminokwasy), zakłady drzewne i meblowe (pył drzewny, lotne związki organiczne), zakłady włókiennicze (pyły włókien, lotne związki organiczne). Badania wykazały, iż stężenie dwutlenku siarki oraz siarkowodoru przed i poza pasem zieleni miejskiej o szerokości 500 m ulega 3-krotnemu obniżeniu, natomiast stężenie tlenków azotu zmniejsza się o 75%. Istotne znacznie z perspektywy problemów miasta, mają zanieczyszczenia pochodzące z silników samochodowych. Drzewo liściaste średniej wielkości zdolne jest w ciągu jednego okresu wegetacyjnego wchłonąć składniki toksyczne pochodzące ze spalania

ok. 130 kg paliwa. Zanieczyszczenia ze względu na rodzaj emisji pól zanieczyszczeń rozdziela się dodatkowo na:

- stacjonarne źródła punktowe (np. kominy zakładów energetycznych),
- źródła liniowe (np. ruch samochodowy na drogach),
- źródła powierzchniowe (np. składowiska odpadów) (Liszewski, 2014).

Dodatkowa zieleń w miastach wpływa na **poprawę jakości życia mieszkańców**. Dzięki niej powstają miejsca rekreacyjne, rozwijają się obszary zielone, gdzie można odpocząć, spędzać czas z rodziną i przyjaciółmi, a także uprawiać różne formy sportu. Zwiększa to również poczucie przyjemności i zadowolenia z życia, co pozytywnie wpływa na zdrowie psychiczne i fizyczne.

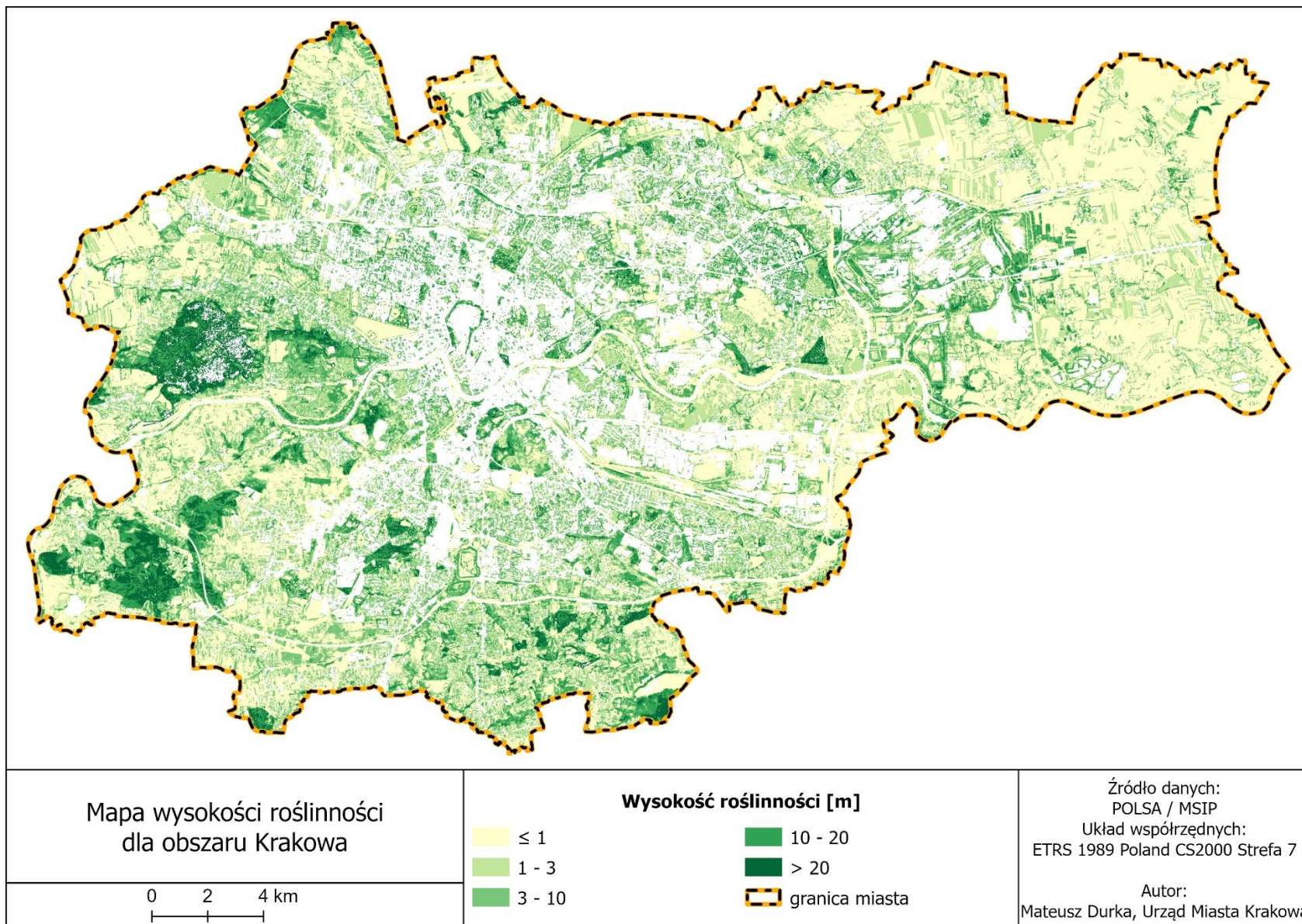
Centralne części miasta są najbardziej pożądanym obszarem pod inwestycję. Wszelakie wolne przestrzenie i tereny zielone o podłożu przepuszczalnym są z biegiem czasu stopniowo zabudowywane. Ponadto, jak wspomina Hotłóś (2013 vol 35, 57-62) co jest charakterystyczne w przypadku dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych do jakich zaliczany jest również Kraków. Na klimat miasta wpływa sposób zagospodarowania i użytkowania terenów zurbanizowanych, a Kraków jest przykładem miasta, którego lokalizacje ośrodków przemysłowych znajdują się w niekorzystnym ułożeniu względem głównego korytarza ekologicznego miasta – doliny Wisły.

W nawiązaniu do wyżej wymienionych argumentów przemawiających na korzyść wysokiej roślinności, analiza mapowa (Ryc. 9) pokazuje, że obszary z najwyższą roślinnością, tzn. ≥ 20 m, występują głównie w zachodniej części miasta. Miasto Kraków posiada niski odsetek lasów, zarówno liściastych jak i iglastych. Największą powierzchnię w Krakowie zajmuje roślinność o wysokości ≤ 1 m. Kumulacja tych terenów przypada na wschodnią (rolniczą) część miasta, jednak obszary te występują na całym terenie Krakowa. Proporcjonalnie dużą powierzchnię w mieście zajmują również tereny o wysokości zieleni od 1 do 3 m. Mapa procentowego pokrycia powierzchni terenu dla obszaru Krakowa (Ryc. 10) pokazuje, że tereny na których procent zieleni wynosi od 0-20 % pokrywa się z mapą terenów antropogenicznych (Ryc. 7). Oznacza to, że intensywny proces urbanizacji tzn. budowa miast, dróg, parkingów oraz innych elementów infrastruktury związanej z obsługą tej zabudowy, zwiększa ilość twardych powierzchni na terenie danego obszaru. Takie powierzchnie mają negatywny wpływ na roślinność, ponieważ nie przepuszczają wody i utrudniają przepływ powietrza oraz ograniczają

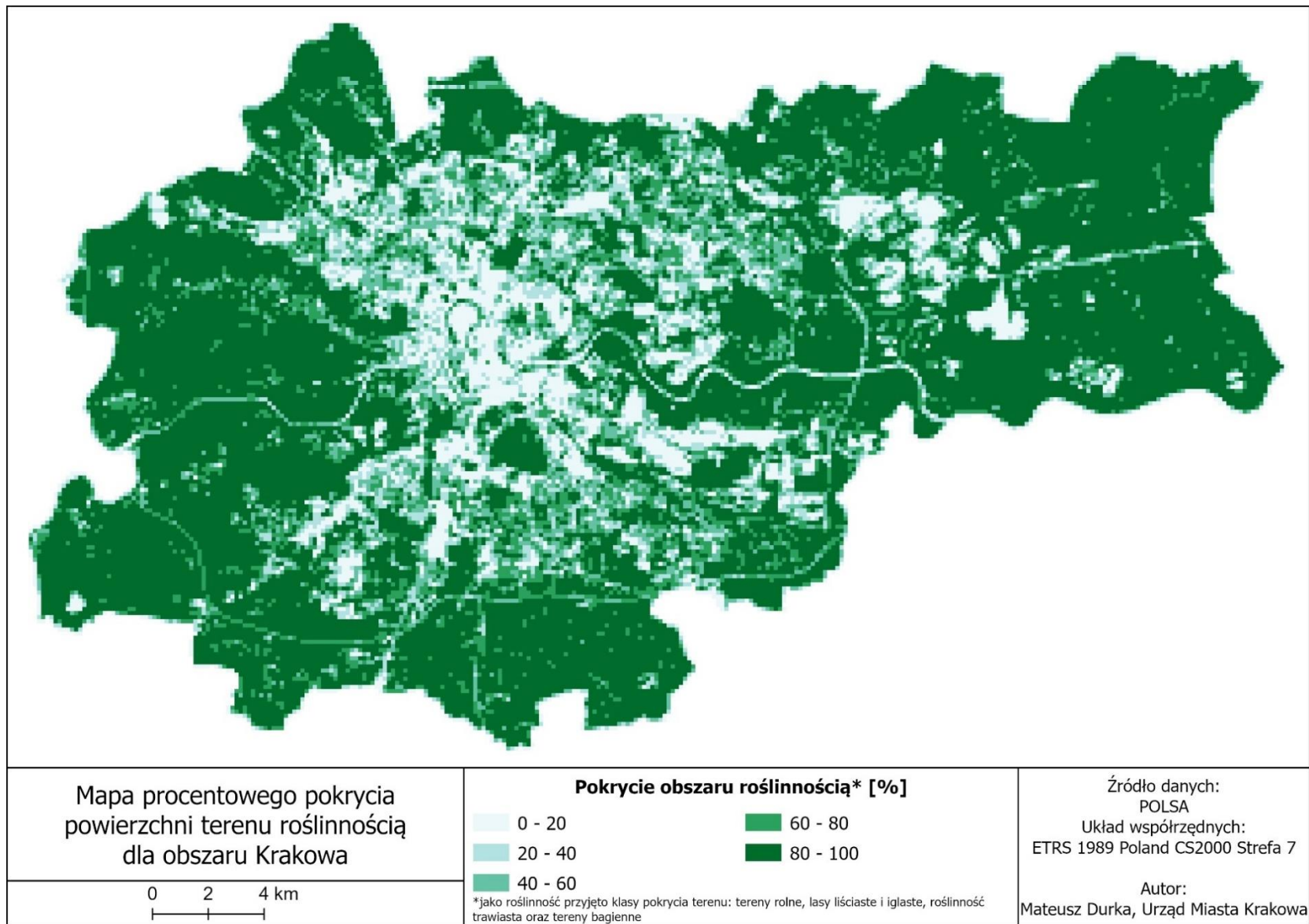
przestrzeń dla korzeni roślin. Oprócz tego, budowa i eksploatacja infrastruktury wymaga usuwania roślinności, co dodatkowo negatywnie wpływa na udział zieleni w strukturze miasta.

Ponadto, ludzie często wykorzystują tereny antropogeniczne w sposób zupełnie odmienny od ich naturalnej funkcji. Na przykład, tereny przemysłowe często zabudowywane są w celu stworzenia magazynów i fabryk lub służą jako miejsce składowania odpadów, co jest niekorzystne dla roślinności. Natomiast na terenach rolniczych, często stosowane są metody intensywnego rolnictwa, które polegają na uprawie jednego gatunku roślin, a to prowadzi do ubożenia gleby i spadku różnorodności biologicznej.

W związku z powyższymi czynnikami, na terenach antropogenicznych roślinność może mieć niewielki udział procentowy. Jednakże, w miarę jak rośnie świadomość społeczeństwa na temat znaczenia ochrony środowiska i roślinności w strukturze miasta, jest coraz więcej podejmowanych działań i inicjatyw w celu przywrócenia naturalnych siedlisk dla roślinności, co pomaga w zwiększeniu jej udziału na terenach miejskich.



Rycina 6. Mapa wysokości roślinności dla obszaru Krakowa.



Rycina 70. Mapa procentowego pokrycia powierzchni terenu roślinnością dla obszaru Krakowa.

V. Zameldowania

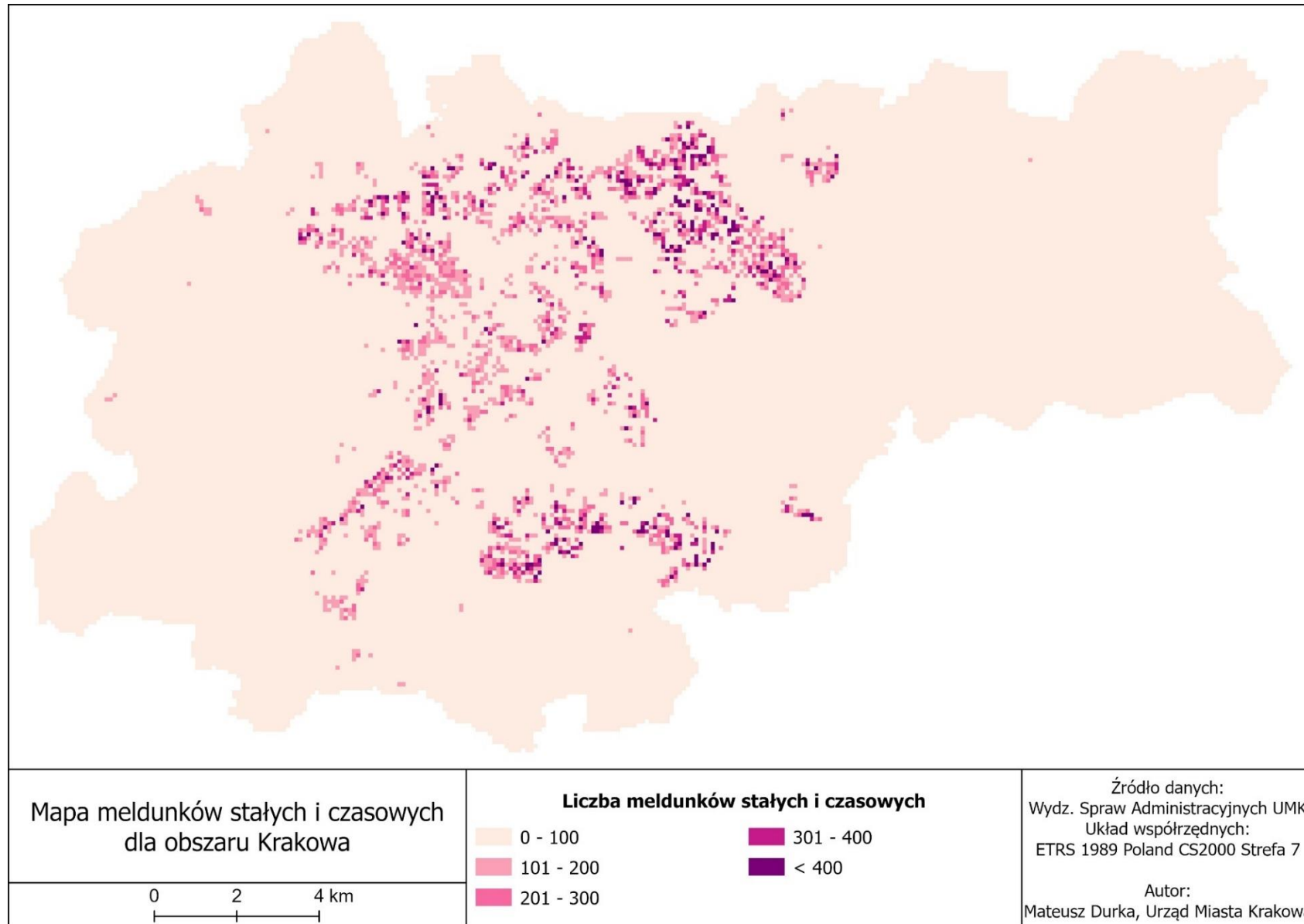
Liczba zameldowań stałych i czasowych (Ryc. 11) ma ogromny wpływ na gęstość zaludnienia oraz jest skorelowana z wysokością budowli (Ryc. 8). Widać to dobrze na przykładzie Starego Miasta, gdzie liczba zameldowań mieści się głównie w przedziałach 0 – 100 osób na 10 000 m². Spowodowane jest to występowaniem zwartej zabudowy historycznej, której maksymalna wysokość wynosi 3 – 4 kondygnacje naziemne, co uniemożliwia tam zwiększenie liczby zameldowań, gdyż liczba dostępnych mieszkań jest ograniczona powierzchnią historycznych kamienic.

Osiedla mieszkaniowe z wysoką zabudową najczęściej gromadzą duże ilości mieszkańców na niewielkiej powierzchni, co prowadzi do zwiększenia gęstości zaludnienia. Im więcej zameldowań na danym osiedlu, tym większa liczba ludzi zamieszkuje daną przestrzeń, co można obserwować na przykładzie wielkich miast, takich do jakich zalicza się również Kraków, gdzie liczba ludności na metr kwadratowy jest bardzo duża. Co więcej, liczba zameldowań związana jest z wysokością budynków. Osiedla mieszkaniowe z wysoką zabudową mieszczą w sobie dużą liczbę mieszkań. Im większa liczba mieszkań tym większa liczba zameldowań na danym osiedlu. Właśnie dlatego na osiedlach mieszkaniowych widoczna jest tendencja do budowania wysokich budynków mieszkalnych, które umożliwiają pomieszczenie jeszcze większej liczby mieszkańców. Do takich osiedli w granicach Krakowa zaliczają się północne osiedla: Krowodrza, Bronowice, Prądnik Biały, Prądnik Czerwony, Mistrzejowice, Bieńczyce i Czyżyny oraz południowe osiedla: Podgórze Tuchackie, Bieżanów – Prokocim oraz wschodnie krańce osiedla Dębniki.

Im większe osiedle, tym więcej ludzi mieszka w nim na stałe lub czasowo. Ponadto wiele osób przyjeżdża na czasowe pobyty, takie jak studia, wakacje czy odwiedziny. W takim otoczeniu istnieje duże zapotrzebowanie na zapewnienie odpowiedniego komfortu termicznego dla mieszkańców. Aby to osiągnąć, ważne jest, aby osiedle posiadało dostęp do zielonej i błękitnej infrastruktury. Las, park, ogród kieszonkowy czy społeczny na osiedlu może zapewnić chłód w upalne dni, co jest szczególnie ważne dla osób starszych i dzieci. Miejsca rekreacyjne, takie jak zbiorniki wodne, baseny i fontanny, mogą posłużyć jako miejsca, w których można się ochłodzić w gorące dni. Dostęp do zielonej i błękitnej infrastruktury ma także pozytywny wpływ na zdrowie mieszkańców. Odpowiednio zaprojektowane przestrzenie zielone mogą

pomóc w redukowaniu hałasu i zanieczyszczeń, a także zapewnić wytwarzanie tlenu, co jest ważne dla zdrowia. Wraz z rozwojem osiedla rzesza mieszkańców zwiększa się, a tym samym także rośnie potrzeba zadbania o komfort termiczny wśród nich. Dostęp do zielono-błękitnej infrastruktury może pomóc w takiej sytuacji oraz poprawić jakość życia mieszkańców na osiedlu i uchronić ich przed upałami.

Mapa meldunków stałych i czasowych bazuje na danych miejskich udostępnianych na portalu Obserwatorium Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej. Wykonano ją sumując liczbę meldunków dla każdego z pól podstawowych siatki kwadratów (100m x 100m).



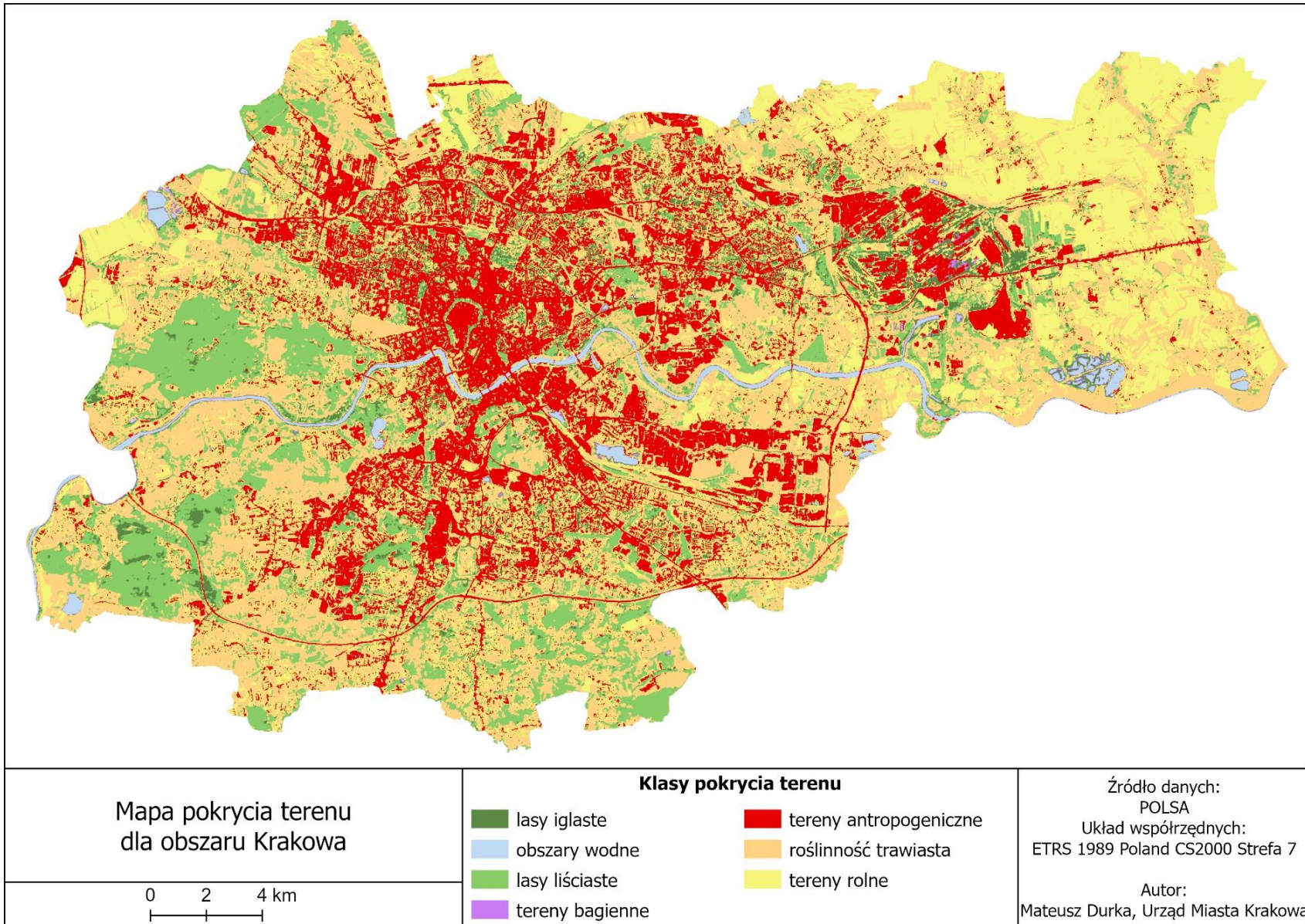
Rycina 8.. Mapa meldunków stałych i czasowych dla obszaru Krakowa.

VI. Struktura własności

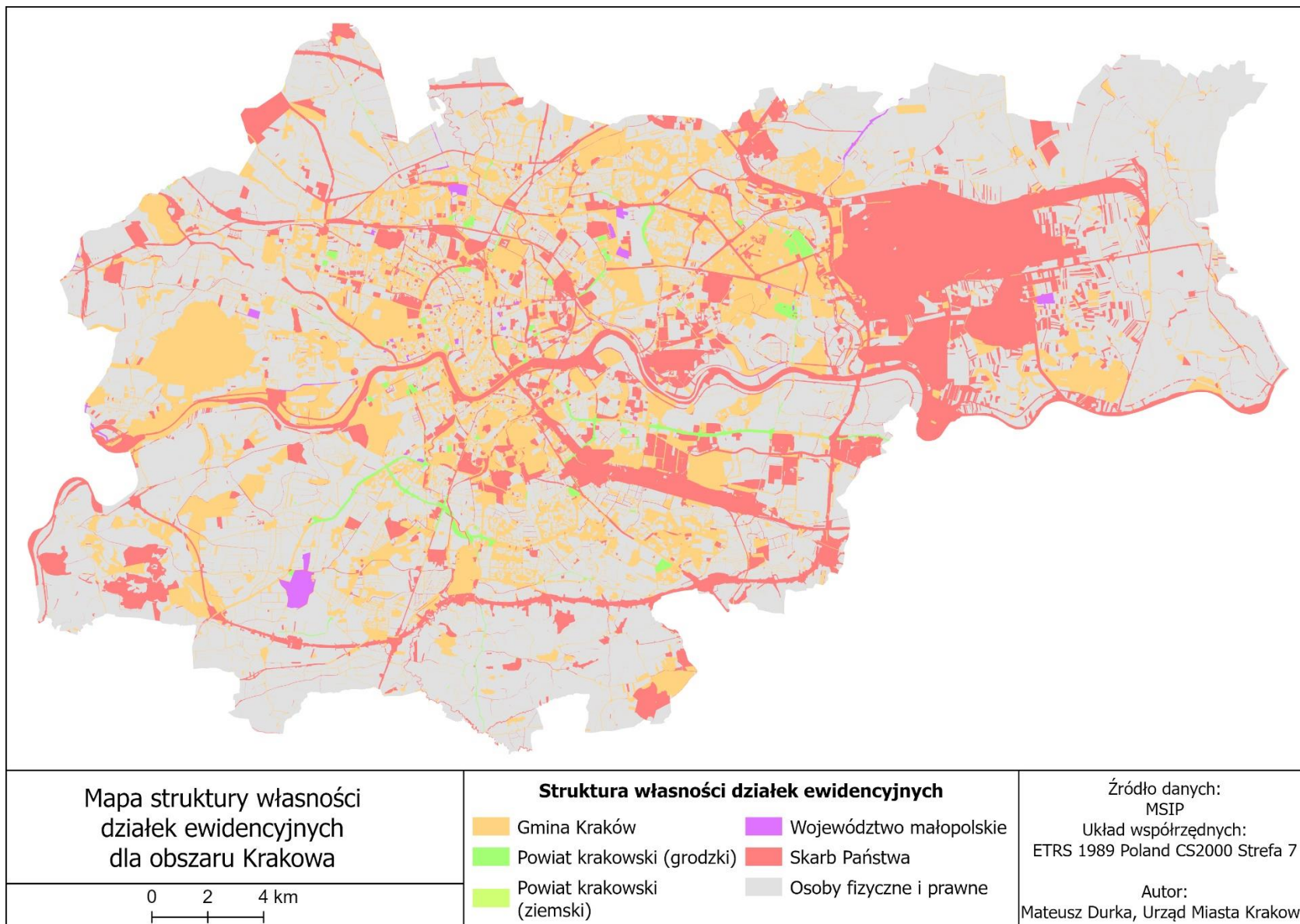
Mapa pokrycia terenu dla obszaru Krakowa (Ryc. 12) ponownie pokazuje, że udział terenów antropogenicznych w porównaniu do terenów zielonych w granicach miasta jest znaczący. Wschodnią część miasta zajmują w większości tereny rolne, z wyłączeniem Nowej Huty. Na zachodzie i w większej części miasta dominuje roślinność trawiasta. Lasy liściaste, a szczególnie iglaste stanowią niewielki udział w strukturze miasta i występują na obszarach zachodniej doliny Wisły oraz w południowych regionach miasta. Mapa pokrycia terenu dla roku 2021 została wykonana przez Polską Agencję Kosmiczną na podstawie danych satelitarnych Sentinel-2. Rozdzielczość przestrzenna piksela mapy wynosi 10 m. Dane są udostępnione przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) na Geoportalu w postaci usługi WCS.

Zasoby przestrzenne miasta, na których można wykonać zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury ograniczają się do terenów Gminy Kraków (Ryc. 13). Procentowy udział terenów prywatnych w mieście jest znacznie większy niż tych należących do miasta. Przygotowanie zaleceń z błękitno-zielonej infrastruktury dla terenów prywatnych nie byłoby skuteczne, gdyż miasto nie posiada siły sprawczej w tym obszarze. Wprowadzone zmiany na terenach prywatnych wymagałyby zgody mieszkańców, co jest bardzo trudne ze względu na brak konkretnych instrumentów legislacyjnych. Skonstruowanie np. ogrodu deszczowego zależy tylko i wyłącznie od chęci mieszkańca. Miasto może jedynie zaproponować katalog rozwiązań, pokazać płynące z nich korzyści, wskazać wykonawcę albo sposób realizacji przedsięwzięcia. Natomiast obszary, które są w posiadaniu Skarbu Państwa, to miejsca które mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa narodowego, obronności, gospodarki oraz zaspokajania potrzeb społeczeństwa. Do takich obszarów w Polsce zalicza się: systemy energetyczne, systemy telekomunikacyjne, drogi, rzeki itp., dlatego zastosowanie zaleceń na tych terenach nie jest możliwe. W celu lepszego zwizualizowania i bardziej szczegółowej analizy, tereny należące do Gminy Kraków zostały dodatkowo wyszczególnione na struktury własności działek ewidencyjnych (Ryc. 14). Działki ewidencyjne, to działki zapisane w ewidencji gruntów i budynków, które są podzielone na różne kategorie własności. Różnica między strukturą własności działek ewidencyjnych oddanych na własność, oddanych we władanie, współwłasność oraz użytkowanie wieczyste wynika z różnych praw i obowiązków właściciela, każdej z tych form własności.

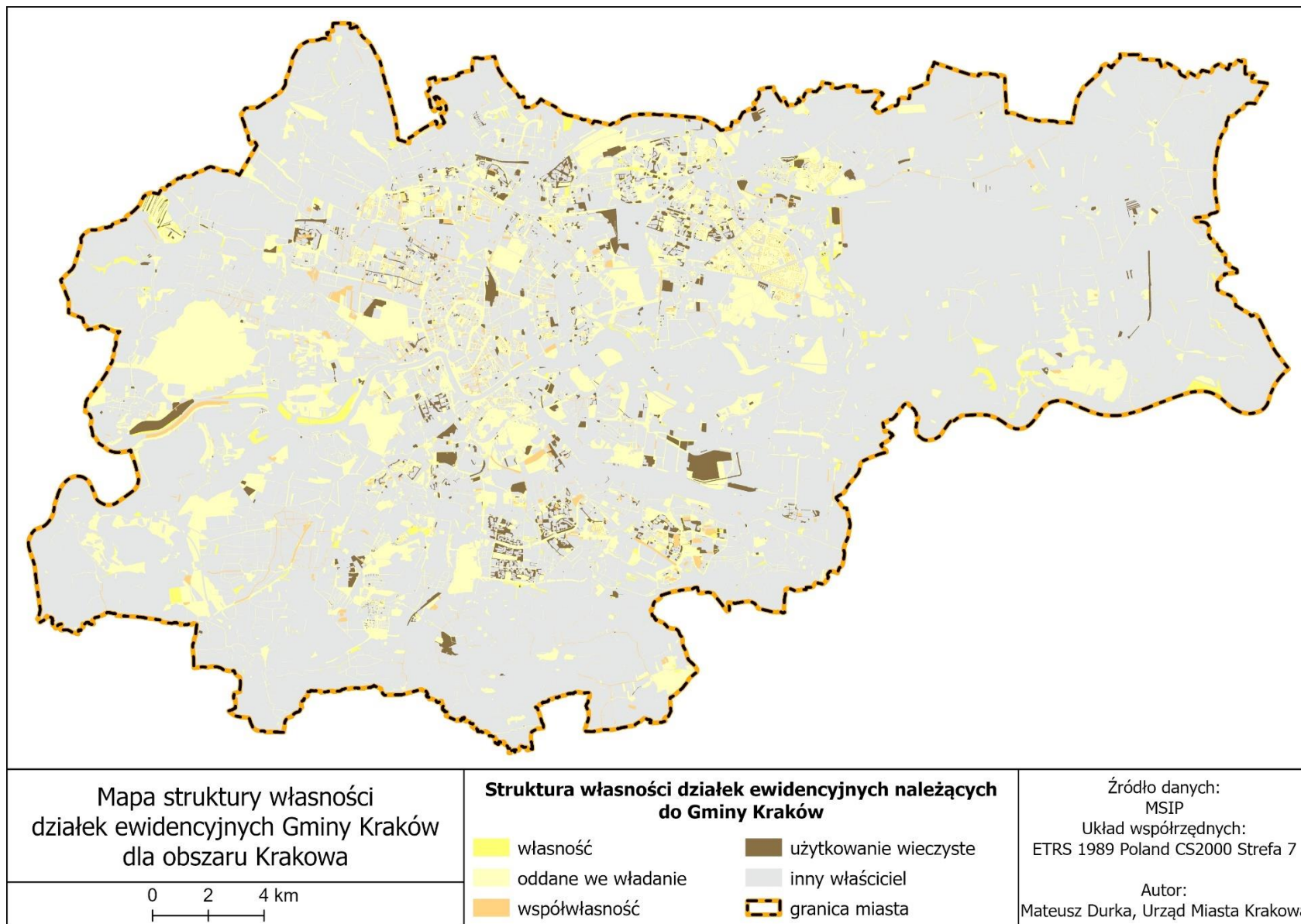
Działki **oddane na własność** Gminie Kraków, oznaczają że właściciel działki otrzymuje pełne prawa do nieruchomości, w tym prawo do dysponowania nią według własnego uznania. Właściciel ma prawo do wykorzystywania terenu, budowania na nim oraz do ewentualnej sprzedaży działki w przyszłości. Nieruchomości **oddane we władanie** Gminie Kraków oznaczają, że nabywca otrzymuje prawa użytkowania terenu, ale nie staje się jej właścicielem. Właściciel może korzystać z nieruchomości zgodnie z określonymi regułami i warunkami, ale nie może dokonywać na niej działań, które wykraczają poza ustalone ramy. **Współwłasność** oznacza, że działka ma dwóch lub więcej właścicieli, którzy posiadają udział w nieruchomości. Współwłaściciele mają prawo do korzystania z nieruchomości zgodnie z określonymi regułami, ale decyzje dotyczące wykorzystania terenu należą do każdego z właścicieli indywidualnie. Ostatnią formą własności działek ewidencyjnych należących do Gminy Kraków jest **użytkowanie wieczyste**. Od 2005 roku stale maleje liczba i powierzchnia nieruchomości gruntowych oddawanych w wieczyste użytkowanie, jest to wynikiem przekształcenia prawa wieczystego użytkowania w prawo własności nieruchomości. Zgodnie z Ustawą z dnia 29 lipca 2005 r. o przekształceniu prawa użytkowania wieczystego w prawo własności (Dz. U. nr 175, poz. 1459 z późn. zmianami). Użytkowanie wieczyste oznacza, że działka ewidencyjna oddana w formie użytkowania wieczystego, to rodzaj prawa do nieruchomości na czas określony. Właściciel danej nieruchomości oddaje ją pod kontrolę użytkownika wieczystego, który płaci opłatę użytkowania i ma prawo korzystać z nieruchomości w ciągu ustalonego okresu. Po upływie czasu użytkowania wieczystego nieruchomość wraca do pierwotnego właściciela (Stefańczyk, 2009). Podsumowując, różnice pomiędzy strukturą własności działek ewidencyjnych oddanych na własność, oddanych we władanie, współwłasność oraz użytkowanie wieczyste polegają na zakresie praw do dysponowania nimi, odpowiedzialności za konserwację i utrzymanie, a także charakterze relacji między właścicielami. Jeśli mówimy już konkretnie o zaleceniach błękitno-zielonej infrastruktury, czy tych dotyczących zmniejszenia szarej infrastruktury na terenach publicznych, wymaga to zmian w planach zagospodarowania przestrzennego oraz budżetu, co jest niemożliwe do osiągnięcia na terenach prywatnych. Kontrola nad utrzymaniem błękitno-zielonej infrastruktury oraz egzekwowanie jej poprawnego działania jest możliwa również jedynie na terenach publicznych, gdzie na etapie budowy i eksploatacji można przeprowadzać kontrolę oraz regulację działań. W związku z tym robienie zaleceń z błękitno-zielonej infrastruktury jest możliwe tylko na terenach publicznych i należących do Gminy Kraków, która ma władzę, a także uprawnienia do wprowadzenia takich działań zaradczych.



Rycina 9. Mapa pokrycia terenu dla obszaru Krakowa.



Rycina 10. Struktura własności działek ewidencyjnych dla obszaru Krakowa.



Rycina 114. Mapa struktur własności ewidencyjnych Gminy Kraków dla obszaru Krakowa.

3. Analiza przestrzenna pod zalecenia z błękitno-zielonej infrastruktury

Aby stworzyć analizę przestrzenną poszczególnym wskaźnikom zostały nadane % wagi, w zależności od ich istotności przy analizie.

[NDVI 25% + zieleń (gęstość 15%, wysokość 25%) + budynki (gęstość 25%, wysokość 20%,) = 100%

Wskaźnik NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index) – pozwala określić stan roślinności oraz kondycję roślinności na badanym obszarze. Oblicza się go poprzez wykorzystanie różnicy w pochłanianiu promieniowania z zakresu spektralnego bliskiej podczerwieni i czerwonego światła widzialnego, według wzoru (Rouse i in. 1973b):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

gdzie:

NDVI – wartość wskaźnika NDVI,

NIR – wartość odbicia promieniowania bliskiej podczerwieni,

R – wartość odbicia promieniowania czerwonego.

Wskaźnik NDVI przyjmuje wartości w przedziale od -1 do 1. Najwyższe wartości przyjmują tereny zielone z bujną roślinnością zdrowej roślinności. Im niższe wartości, tym mniejsza ilość oraz gorszy stan terenów zielonych i tym więcej obszarów antropogenicznych, skał, hałd, a także innych terenów bez widocznej szaty roślinnej. Wartości ujemne i około zera charakteryzują zazwyczaj wodę, śnieg lub chmury. Wartości NDVI są dodatnio skorelowane z aktywnością fotosyntetyczną roślinności (Rouse i in. 1973a) oraz ilością i jakością szaty roślinnej (Wan i in. 2004).

W analizie wykorzystano dane satelitarne Sentinel-2 z projektu Copernicus prowadzonego przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) dla 6 momentów czasowych: 9 czerwca i 6 sierpnia 2019 r., 1 i 28 lipca 2020 oraz 21 czerwca i 13 lipca 2021 r. Dla tych okresów obliczono wartości wskaźnika NDVI, a następnie obliczono średnią arytmetyczną ze wszystkich wyników. Takie działanie pozwoliło zminimalizować ryzyko wystąpienia błędów dla

pojedynczych pikseli w związku z chwilowymi zmianami otoczenia w chwili wykonania zdjęcia. Na pozyskanych zobrazowaniach nie stwierdzono występowania warunków, które mogłyby zafałszować wynik (chmur itp.) dla badanego obszaru. W związku z 10-metrową rozdzielczością przestrzenną danych Sentinel-2 przeprowadzono agregację i uśrednienie danych do siatki kwadratów.

Tabela 1 Przydział punktów do średniej ważonej według wartości wskaźnika NDVI.

Wartość NDVI	Punktacja
0,80 - 1,00	1
0,61-0,80	2
0,41-0,60	3
0,21-0,40	4
< 0,20	5

Obszary miejskiej zieleni są pomocne w zacienianiu powierzchni czynnej w trakcie dnia, choć warto zauważyć, że nie tylko sama obecność, ale również rodzaj i wysokości roślinności są niezwykle istotne z perspektywy zieleni miejskiej. Drzewa dają więcej cienia niż krzewy lub trawy, ponadto korony drzew przechwytyują i odbijają część promieniowania słonecznego (Bowler i in. 2010), przez co nie dociera ono niżej do strefy w której na co dzień się poruszamy. Dodatkowo, albedo naturalnych powierzchni czynnych zazwyczaj jest wyższe niż antropogenicznych, przez co odbijają więcej promieniowania i nie magazynują takich ilości ciepła. Warto jednak mieć na uwadze, że niektóre powierzchnie naturalne mogą charakteryzować się niskim albedo, np. las liściasty czy czarnoziemy. Ponadto, odpowiednia gospodarka zielenią w mieście jest pomocna w zachowaniu bioróżnorodności gatunkowej na obszarze miasta, np. jako schronienie czy obszar żerowania dla zwierząt oraz retencjonowaniu wód opadowych.

Mapa **procentowego pokrycia roślinnością** obszaru Krakowa stworzono na bazie mapy pokrycia terenu dla 2021 roku, stworzonej przez Polską Agencję Kosmiczną (POLSA) na podstawie danych satelitarnych Sentinel-2. Dane są udostępnione przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) na Geoportalu w postaci usługi WCS.

Tabela 2 Przydział punktów do średniej ważonej według wartości procentowego pokrycia terenu roślinnością.

Pokrycie terenu roślinnością [%]	Punktacja
80-100	1
60-80	2
40-60	3
20-40	4
0-20	5

Mapę **wysokości roślinności** sporządzono przypisując dla każdego pola podstawowego mapy pokrycia terenu z 2021 roku, które zakwalifikowano jako roślinność, uśrednioną wartość różnicy Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu i Numerycznego Modelu Terenu z 2021 roku, będących zasobami Hurtowni Danych Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej. W ten sposób otrzymano mapę wysokości roślinności obszaru Krakowa w siatce kwadratów o boku 10 metrów, którą następnie zgeneralizowano do siatki kwadratów o boku 100 metrów.

Tabela 3. Przydział punktów do średniej ważonej według wartości średniej wysokości roślinności.

Średnia wysokość roślinności [m]	Punktacja
> 20	1
10 - 20	2
3 - 10	3
1 - 3	4
≤ 1	5

Budynki w kontekście temperatury powietrza w mieście pełnią dwie różnorodne funkcje: z jednej strony zapewniają zacienienie, jeżeli są dostatecznie wysokie, z drugiej strony są również akumulatorami energii cieplnej pochodzącej z promieniowania słonecznego. Zazwyczaj mają niskie albedo, którą następnie wypromieniowują, doprowadzając do zwiększenia temperatury otoczenia. W analizie wpływu zabudowy na kształtowanie się zróżnicowania temperatury w mieście, ważnym aspektem jest rodzaj materiału, z jakiego

wykonano dany budynek, kolor dachu oraz elewacji, jednak aspekty te nie zostały uwzględnione w tej analizie ze względu na brak danych.

Zarówno mapę **procentowego pokrycia zabudową**, jak również mapę **średniej wysokości budynków** wykonano na podstawie danych z Ewidencji Gruntów i Budynków. Pierwszą z nich przez porównanie powierzchni zabudowy w każdym z pól podstawowych do całkowitej powierzchni danego pola podstawowego, zaś drugą na podstawie istniejącego w warstwie budynków Ewidencji Gruntów i Budynków atrybutu liczby kondygnacji nadziemnych.

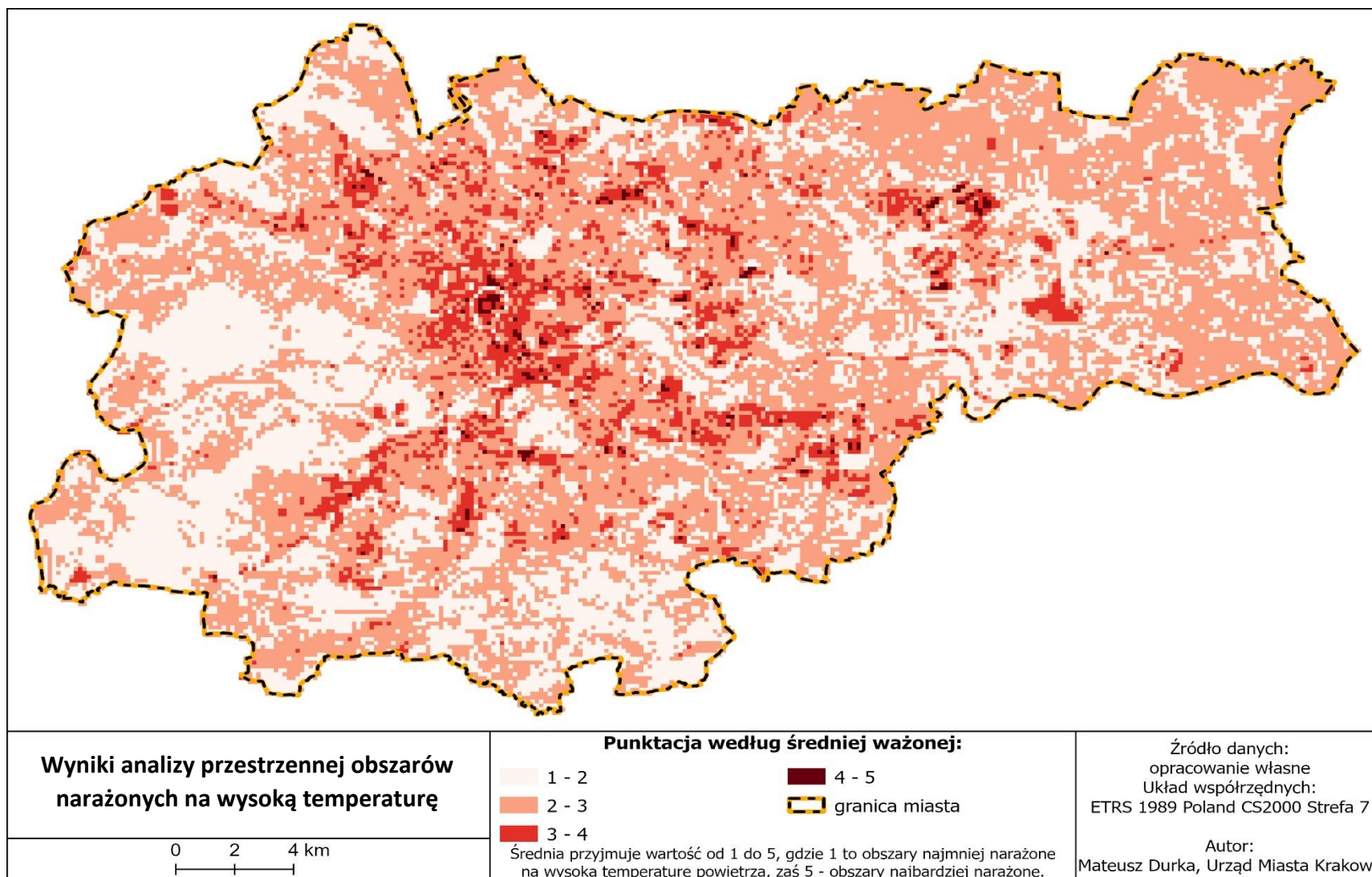
Tabela 4. Przydział punktów do średniej ważonej według wartości pokrycia terenu zabudową.

Pokrycie terenu zabudową [%]	Punktacja
0-20	1
20-40	2
40-60	3
60-80	4
80-100	5

Tabela 5. Przydział punktów do średniej ważonej według wartości średniej wysokości budynków.

Średnia wysokość zabudowy [m]	Punktacja
0	1
0 - 2	2
2 - 4	3
4 - 8	4
> 8	5

Serdecznie dziękujemy Pani prof. Anicie Bokwie za pomoc merytoryczną w skomponowaniu wzoru wskaźnika do analizy.



Rycina 12. Wyniki analizy przestrzennej obszarów narażonych na wysoką temperaturę.

4. Podsumowanie

Niniejszym opracowaniem dowiedziono faktycznego istnienia przestrzennego przegrzewania się miasta. Po raz pierwszy zdefiniowano rozkład obszarów najbardziej wrażliwych i o największym stopniu zagrożenia falami upałów oraz nocami tropikalnymi (Rycina 16). Mapa ta stanowi rzetelną podstawę do wprowadzenia zaleceń z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury, poprzez wykorzystanie jej jako warstwy podkładowej do opracowania projektu lokalizacji tych inwestycji na wskazanych obszarach. Zrealizowanie takich zadań w ujęciu wielkoskalowym np. dla osiedla, grupy osiedli, dzielnicy czy globalnie dla całego miasta, umożliwiłoby znaczącą poprawę komfortu termicznego mieszkańców. Im większa skala przedsięwzięcia, tym bardziej odczuwalne efekty. Wdrożenie działań o takim charakterze wymaga podnoszenia świadomości, holistycznego podejścia do planowania i projektowania rozwiązań z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury oraz zaangażowania nie tylko specjalistów i władz miasta, ale również mieszkańców. Na problem, który zdefiniowała przedmiotowa analiza należy spojrzeć przez pryzmat:

- specyfiki geograficznej oraz topograficznej miasta tj. położenie Krakowa w dolinie, sąsiedztwo rzek i zbiorników wodnych,
- warunków klimatycznych tj. inwersji temperatury, ciszy atmosferycznej,
- zmiany charakteru powierzchni czynnej tj. albedo,
- zmiany szorstkości aerodynamicznej terenu przez zabudowę,
- wzrostu ruchu samochodowego,
- wzrastającej liczby mieszkańców.

Dzięki zastosowaniu błękitno-zielonej infrastruktury, mieszkańcy zyskaliby większy dostęp do miejsc zacienionych, o niższej temperaturze i wyższej wilgotności w stosunku do otaczających terenów. Ograniczenie występowania ekstremalnych temperatur na wskazanych obszarach miasta zdecydowanie wpłynie na poprawę samopoczucia i zdrowia mieszkańców oraz zwiększy liczbę miejsc służących aktywności na powietrzu. Przyniesie zdecydowane korzyści dla środowiska, takie jak redukcja efektu miejskiej wyspy ciepła, poprawa jakości powietrza czy zwiększenie retencji powierzchniowej, co przyczyni się do bardziej zrównoważonego rozwoju urbanistycznego.

Spis rycin:

Rycina 1. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie wiosną w godzinach nocnych (czas UTC).	4
Rycina 2. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie latem w godzinach nocnych (czas UTC).....	4
Rycina 3. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie jesienią w godzinach nocnych (czas UTC).	5
Rycina 4. Zróżnicowanie przestrzenne średniej sezonowej intensywności MWC w Krakowie zimą w godzinach nocnych (czas UTC).....	5
Rycina 5. Wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji (NDVI) dla obszaru Krakowa.	8
Rycina 6. pokrycie powierzchni terenu budynkami dla obszaru Krakowa.	11
Rycina 7. Mapa pokrycia terenu z wyróżnieniem terenów antropogenicznych dla obszaru Krakowa.	12
Rycina 8. Średnia liczba kondygnacji naziemnych dla obszaru Krakowa.....	16
Rycina 9. Mapa wysokości roślinności dla obszaru Krakowa.	21
Rycina 10. Mapa procentowego pokrycia powierzchni terenu roślinnością dla obszaru Krakowa.	22
Rycina 11. Mapa meldunków stałych i czasowych dla obszaru Krakowa.....	25
Rycina 12. Mapa rycia terenu dla obszaru Krakowa.	28
Rycina 13 Struktura własności działek ewidencyjnych dla obszaru Krakowa.	29
Rycina 14. Mapa struktur własności ewidencyjnych Gminy Kraków dla obszaru Krakowa. .	30
Rycina 15. Wyniki analizy przestrzennej obszarów narażonych na wysoką temperaturę.....	35

Spis tabel:

Tabela 1 Przydział punktów do średniej ważonej według wartości wskaźnika NDVI.....	32
Tabela 2 Przydział punktów do średniej ważonej według wartości procentowego pokrycia terenu roślinnością.....	33
Tabela 3. Przydział punktów do średniej ważonej według wartości średniej wysokości roślinności.	33
Tabela 4. Przydział punktów do średniej ważonej według pokrycia terenu zabudową.....	34
Tabela 5. Przydział punktów do średniej ważonej według wartości średniej wysokości budynków.	34

Bibliografia:

1. <https://www.czysteogrody.com.pl/walory-zmienności-przestrzennej-densys-urbanizacji-w-kontekście-historii-a-wp-yw-na-miejska-wyspe-ciepła/>
2. <https://www.poczetkrakowski.pl/maleojczyzny/iii-aktualne-dzielnice-samorządowe-krakowa/>
3. Bokwa A, Durka M, 2023. Ekspertyza Miejskiej Wyspy Ciepła w Krakowie, Kraków
4. Bowler D. E., Buyung-Ali L., Knight T. M., Pullin A. S., 2010, Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence, *Landsc. Urban Plan.* 97, 147–155.
5. Czerwieniec M., Lewińska J. 1996. Zielen w mieście. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa
6. Czerwieniec M., Lewińska J., 1996, Zielen w mieście. IGPIK, Warszawa.
7. Graczyk D., Pińskwar I., Choryński A., 2022, Heat-Related Mortality in Two Regions of Poland: Focus on Urban and Rural Areas during the Most Severe and Long-Lasting Heatwaves, *Atmosphere*, 13(3), 390
8. Graczyk D., Pińskwar I., Choryński A., Szwed M., Kundzewicz Z. W., 2017, Wpływ fal upałów na zdrowie w największych polskich miastach, *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*, 199-212.
9. Grimond C.S.B., Oke T.R., 1999. Aerodynamic PROPERTIES of urban areas derived from analysis of Surface from. *Apple. Met* vol 38, 1262-1292.
10. Hotłoś H., 2013. Analiza wpływu czynników meteorologicznych na zmienność poboru wody w miejskim systemie wodociągowym. *Ochrona Środowiska* vol 35, 57-62.
11. Lettau H., Lettau K., 1969. Shortwave radiation climatology. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* vol. 21 s. 208-222.
12. Liszewski S., 2012. *Geografia urbanistyczna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
13. Oke T.R., 1976. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14, s. 268–277.
14. Oke T.R., 1979. Review of urban climatology 1973-1976. WMO Techn. Note 169.
15. Oke T.R., 1987. *Boundary layer climates*, 2nd edn. Methuen, London.
16. Orzeszek-Gajewska E. 1982. *Kształtowanie terenów zieleni w miastach*, PWN, Warszawa

17. Turlej K., 2009. Porównanie wartości NDVI odczytanych z obrazów satelitarnych NOAA AVHRR, SPOT-VEGETATION i TERRA MODIS. Teledetekcja środowiskowa vol. 42, Warszawa.
18. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. and Deering D. W., 1973a, Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite), Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 10-14 December, SP-351, 309-317.
19. Rouse J. W., Haas R. H., Schnell J. A., Deering D. W., 1973b, Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M University, College Station.
20. Stefanczyk M., 2009. Nieruchomości gruntowe w miastach metropolitarnych. Problemy Rozwoju Miast. Instytut Rozwoju Miast.
21. Szymanowski M., 2004. Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu. Studia Geograficzne 77. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
22. Szymanowski M., 2005. Interactions between thermal advection in frontal zones and the urban heat island of Wrocław, Poland. Theoretical and Applied Climatology, 82, s. 207-224.
23. Wan Z., Wang P., Li X., 2004, Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index Products for Monitoring Drought in the Southern Great Plains, USA, International Journal of Remote Sensing, 25, 61-72.
24. Zimny H. 2005. Ekologia miasta. Agencja Reklamowo-wydawnicza Grygierczyk, Warszawa