

Wykorzystanie wskaźników powierzchniowych i objętościowych z wysokorozdzielczych danych teledetekcyjnych do oceny wypełnienia roślinnością kwartałów miejskich w centrum miasta Łodzi

The use of surface and volume indicators from high resolution remote sensing data to assess the vegetation filling of urban quarters in Łódź city centre, Poland

Artur WORM

 Krzysztof BĘDKOWSKI

Adam BIELECKI

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji
ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź
worm.artur@gmail.com
krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl
adam_biel@o2.pl

Streszczenie

We współczesnym świecie tereny miejskie są najszybciej rozwijającym się i najbardziej przekształcanym fragmentem powierzchni Ziemi. Miasta zajmują coraz większą powierzchnię, zaś w ich granicach wartość terenów dynamicznie wzrasta. Zarządzający miastami w Polsce, na potrzeby statystyk, sporządzają zestawienia wielkości powierzchni różnych kategorii terenów, uwzględniając także obszary zajęte przez parki, lasy miejskie czy zieleńce. W praktyce statystyki te mają za zadanie pokazać, przynajmniej częściowo, m.in. w jakim stopniu miasto jest „naturalne” i „zielone”. Jednak oficjalne dane dotyczące terenów zieleni nie przedstawiają rzeczywistej sytuacji, gdyż nie uwzględnia się w nich bardzo dobrze rozwiniętej roślinności towarzyszącej terenom spełniającym inne funkcje lub tej nie zarządzanej przez jednostki publiczne.

Artykuł przedstawia wyniki analiz mających na celu wyznaczenie rzeczywistej wielkości zasobów roślinności znajdującej się w ścisłym centrum Łodzi, bez względu na ich funkcje czy przeznaczenie. W pracy wykorzystano dane satelitarne oraz chmurę punktów LiDAR, dzięki czemu wyniki przedstawiają wartości niezależne od tych zawartych w oficjalnych bazach danych przestrzennych. W celu przedstawienia nierównomierności zasobów na analizowanym obszarze posłużono się podziałem miasta na kwartały ulic oraz na regularną siatkę kwadratów. Dodatkowo podzielono zieleń ze względu na dostępność, którą rozumiemy jako możliwość swobodnego wejścia na teren pokryty roślinnością i przebywania w nim. Wyróżniliśmy zieleń dostępną dla wszystkich mieszkańców (czyli taką, wśród której można przebywać bez żadnych dodatkowych obostrzeń, należy tu np. zieleń przyuliczna, parki, zieleńce) oraz o dostępie ograniczonym, tj. znajdującą się w podwórkach i innych terenach zamkniętych. Na potrzeby analiz wyliczono powierzchnię terenów pokrytych roślinnością oraz kubaturę roślinności. Wyniki analiz zestawiono na kartogramach. W analizowanym fragmencie miasta roślinność zajmuje 679681,6 m², co stanowi

17% powierzchni, a jej kubatura wynosi 5 994 219 m³. Na 1 mieszkańca przypada 17,46 m² powierzchni pokrytej roślinnością oraz 153,99 m³ przestrzeni zajętej przez roślinność. 45% powierzchni oraz 48% objętości roślinności można uznać za ogólnodostępną. Przestrzenne rozmieszczenie roślinności oraz mieszkańców jest bardzo nierównomierne, co powoduje dużą zmienność wartości wskaźników powierzchniowych i objętościowych, wyznaczonych zarówno w kwartałach miasta, jak i w regularnej siatce.

Abstract

In the modern world, urban areas are the fastest growing and most transformed fragment of the Earth's surface. Cities occupy a larger and larger area, while within their borders the value of land increases very dynamically. For the needs of statistics, city managers in Poland draw up coverage of areas, including areas occupied by city parks, urban forests and green areas. In practice these statistics are created to show, at least partly, among others, how much is the city "natural" and "green". Those values turn out to be underestimated, because they do not include very well developed vegetation accompanying other functions or that not managed by public entities. An important problem is also the availability of land covered by greenery for city residents.

The article presents the results of analyses consisting in determining the actual amount of greenery located in the very centre of Łódź. The article uses satellite data and LiDAR point cloud, thanks to which the results present values independent of those contained in official spatial databases. In order to present the unevenness of resources in the analysed area, the division into street quarters and also a regular grid of squares was used. In addition, the greenery was divided due to the availability, which we understand as the possibility of free entry to the area covered with vegetation and being in it. Urban vegetation was divided into available to all residents and limited access for immediate residents, i.e. located in courtyards and other enclosed areas. For the purposes of analysis, the area of vegetation covered and its cubature were calculated. The results of the analyses are compiled on cartograms. In the analysed fragment of the city, vegetation covers 679681.6 m², which is 17% of the area, and its volume reaches 5 994 219 m³. There is 17.46 m² of vegetation and 153.99 m³ of space occupied by vegetation per capita. 45% of the area and 48% of the vegetation volume can be considered generally available. The spatial distribution of vegetation and inhabitants is very uneven, which causes a large variation in the value of surface and volume indicators in both city quarters and in the regular grid.

Keywords: Urban green, inventory, remote sensing, LiDAR.

Słowa kluczowe: Zielen miejska, roślinność, inwentaryzacja, teledetekcja, LiDAR.

Wprowadzenie

„Terenami zieleni”, według Ustawy o ochronie przyrody z 16 kwietnia 2004 roku, są „tereny wraz z infrastrukturą techniczną i budynkami funkcjonalnie z nimi związanymi, pokryte roślinnością, znajdujące się w granicach wsi o zwartej zabudowie lub miast, pełniące funkcje estetyczne, rekreacyjne, zdrowotne lub osłonowe, a w szczególności parki, zieleńce, promenady, bulwary, ogrody botaniczne, zoologiczne, jordanowskie i zabytkowe oraz cmentarze, a także zieleń towarzysząca ulicom, placom, zabytkowym fortyfikacjom, budynkom, składowiskom, lotniskom oraz obiektom kolejowym i przemysłowym” (Ustawa 2004).

Powyższa definicja nie obejmuje jednak wszystkich terenów pokrytych roślinnością w mieście. Istnieją bowiem obszary pokryte bujną roślinnością zinventaryzowane jako chociażby nieużytki czy też tereny poprzemysłowe, które w naturalny sposób pokryte zostały roślinami, które z czasem osiągnęły wysokość porównywalną do tej, która znajduje się np. w parkach czy zieleńcach.

Roślinność ma duże znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania miasta. Jako nierozłączny element krajobrazu znacznie wpływa na szereg czynników kształtujących najbliższe otoczenie (Szumacher 2011) oraz określających komfort życia mieszkańców (Bożętko 2008, Czekieli-Świtalska 2010, Łukasiewicz A., Łukasiewicz S. 2016).

Obecnie ponad połowa ludności Polski żyje w miastach, a prognozy wskazują na dalsze zwiększanie się udziału ludności miejskiej (Wysocki 2008). Niezwykle istotna jest więc kwestia obecności i funkcjonowania roślinności na obszarach zurbanizowanych. Jej wielkość i różnorodność bezpośrednio kształtują estetykę miast. Obecny trendem w urbanistyce jest gęste rozmieszczanie skwerów, maksymalizacja udziału roślinności w przestrzeniach ulicznych, tworzenie ulic-ogrodów. Gęsta roślinność w pasach drogowych znacznie przyczynia się do redukcji hałasu. Dla mieszkańców miast istotne są jeszcze takie funkcje roślinności, jak: filtracja kurzu i zanieczyszczeń, osłona przed wiatrem, ocienianie (regulacja temperatury w kanyonach ulic). Skupiska roślinności tworzą specyficzny mikroklimat o zwiększonej wilgotności, odpowiedni do rekreacji i wypoczynku. Obszary roślinności uporządkowanej, takie jak parki czy skwery, często wiążą się z obiektami towarzyszącymi – placami zabaw, placami sportowymi, fontannami. Obecność roślinności zwiększa atrakcyjność okolicy i podnosi komfort egzystencji w bezpośrednim sąsiedztwie. Bliskość terenów zieleni wymieniana jest jako jeden z najważniejszych czynników warunkujących pozytywną ocenę jakości życia w miejscu zamieszkania (Durecka 2017).

Według Niewiadomskiego (2013), Łódź ma jeden z największych w Polsce udziałów procentowych terenów zaliczanych do pokrytych zielenią w powierzchni

całkowitej miasta oraz ich powierzchni przypadającej na 1 mieszkańca. Niemal 50 m² ww. terenów zieleni przypadającej na 1 osobę jest wielkością imponującą, jednak nie uwzględnia faktycznej możliwości przebywania na terenach pokrytych roślinnością oraz ogranicza się do jej scharakteryzowania za pomocą tylko jednego wskaźnika – pola zajmowanej powierzchni. Dla mieszkańca miasta natomiast czym innym jest 30 m² terenu zajętego przez wysokie, dobrze rozwinięte drzewo, dające cień oraz wydatnie wpływające na estetykę okolicy, niż taka sama powierzchnia składająca się z niskich traw, łąk czy krzewów. Za niezbędne uważamy zatem opisywanie zasobów roślinności miejskiej z uwzględnieniem jej kubatury.

Motywacją do podjęcia badań była chęć poznania rzeczywistej wielkości i dostępności zieleni w warunkach centrum Łodzi, w ujęciu zarówno powierzchniowym, jak i objętościowym (wolumetrycznym), w przeliczeniu na jednostkę powierzchni oraz na jednego mieszkańca. Rozpoznanie zasobów zieleni wykonano z wykorzystaniem metod teledetekcyjnych i fotogrametrycznych.

Tematyka inwentaryzacji zieleni miejskiej na podstawie danych pochodzących z lotniczego skanowania laserowego (ALS) i cyfrowych zdjęć lotniczych poruszana była wielokrotnie w opracowaniach naukowych. Kubalska i Preuss (2014) do wykonania inwentaryzacji zieleni we Wrocławiu zgromadzili oraz przetworzyli między innymi lotnicze zdjęcia cyfrowe (o rozdzielczości 10 cm) oraz dane lotniczego skanowania laserowego (gęstość 15 pkt m⁻²). Dane te wykorzystali do sporządzenia Numerycznego Modelu Terenu (NMT), Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT), znormalizowanego Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (zNMPT) oraz tzw. prawdziwej ortofotomapy (*true ortho*). Ostateczną klasyfikację otrzymali poprzez nałożenie filtra minimalnej wartości wskaźnika NDVI $\geq 0,1$ obliczonego z pikseli ortoobrazu w podczerwieni (tzw. CIR – Color InfraRed), a następnie zintegrowania wyników obszarów z odpowiadającymi im przestrzennie danymi wysokościowymi. Uzyskane wyniki umożliwiły klasyfikację zieleni miejskiej do trzech klas wysokości, co ma lepsze walory interpretacyjne niż opracowania ograniczające się jedynie do analizy jej powierzchni.

Podobne podejście przy klasyfikacji dwóch różnych typów obiektów miejskich – budynków oraz roślinności – przyjęli Grigillo i Kanjir (2012). Zastosowali cyfrowe zdjęcia lotnicze oraz dane skanowania laserowego, a także wytworzyli NMPT za pomocą danych ALS. Do uzyskania NMT wykorzystali wielospektralne obrazy fotogrametryczne. Drugim elementem było automatyczne wyodrębnienie roślinności za pomocą analizy obiektowej, którą wykonali na ortoobrazach z trzema kanałami spektralnymi – podczerwieni, czerwieni i zieleni, z dodanym czwartym kanałem – warstwą zNMPT. Starannie dobrane parametry segmentacji pozwoliły na wyodrębnienie za pomocą indeksu NDVI obiektów kwalifikowanych jako „roślinność widzialna” lub tereny „zacięnione”. Następnie procedurę segmentacji powtórzono oddzielnie dla stref zacięzionych, aby wyodrębnić ukrytą w nich roślinność. Złączone elementy roślinności miejskiej zostały dalej podzielone na roślinność wy-

soką oraz niską (powyżej i poniżej 1 m) na podstawie atrybutu wysokości odczytanego z zNMPT.

Myeong i in. (2001) również korzystali z cyfrowych zdjęć w podczerwieni o wysokiej rozdzielczości i wykonali podział przestrzeni miejskiej na drzewa i krzewy, trawniki, glebę bez pokrywy, wody oraz powierzchnie nieprzepuszczalne. Tutaj także wyzwaniem dla autorów były obszary zacięzione, ale też duże podobieństwa spektralne pomiędzy wyodrębnianymi klasami. Dopiero wielokrotne próby dobierania i nakładania tekstur, masek i filtrów większościowych pozwoliły zwiększyć dokładność klasyfikacji.

Krukowski i in. (2016) oraz Krukowski (2018) zastosowali wysokorozdzielcze obrazy satelitarne IKONOS 2 o szczegółowości pozwalającej precyzyjnie przydzielać poszczególne piksele do klas pokrycia terenu. Zdecydowali wydzielić dwie klasy zieleni miejskiej: wysoką oraz niską. Pierwszym krokiem było przyjęcie progu NDVI $> 0,2$ do wyodrębnienia roślinności. Następnie określono pola treningowe dla dwóch wcześniej wymienionych klas i dokonano klasyfikacji nadzorowanej obszarów pokrytych przez roślinność. Biorąc pod uwagę zaobserwowane po terenowej weryfikacji wyników pól większe wartości wskaźnika dla roślinności wysokiej, autorzy zastosowali dodatkowy próg dyskryminujący wynoszący NDVI = 0,35. Otrzymane w ten sposób dwie klasy roślinności – wysokiej oraz niskiej – stanowiły finalny efekt podjętej kategoryzacji.

Oryginalną koncepcję wykorzystania NDVI do oceny dostępności roślinności w miastach przedstawili Będkowski i Bielecki (2017). Zastosowali ten wskaźnik jako miernik wielkości zasobów roślinności oraz określili, za pomocą krzywej koncentracji Lorenza, dostępność do nich dla mieszkańców Łodzi. Stwierdzili, że na skutek nierównomiernego rozmieszczenia ludności i roślinności, dostęp jest bardzo utrudniony, co wyraża się w tym, że niemal 80% mieszkańców ma w miejscach zamieszkania łącznie tylko ok. 25% zasobów roślinności miejskiej.

Autorzy prac dotyczących obszarów leśnych (Strzełiński i in. 2007, Stereńczak 2009), zgodnie zaznaczają, że o ile monitorowanie roślinności pod kątem pokrycia powierzchni czy ich stanu biofizycznego podejmowane jest na wiele różnych sposobów, o tyle zdalne badania procesów i charakterystyki drzewostanów ciągle stanowią wyzwanie. Sukcesywnie jednak techniki geomatyczne coraz częściej zastępują tradycyjnie stosowane metody naziemne. Pomiary za pomocą skaningu laserowego w leśnictwie wykorzystuje się m.in. w celu budowy Numerycznego Modelu Terenu (Będkowski 2004, Stereńczak i in. 2008), określania liczby drzew, wysokości drzew i drzewostanów (Stereńczak i in. 2008, Wężyk i in. 2010, 2016, Stereńczak 2013), objętości drewna (Straub i Koch 2011) czy szacowania wielkości biomasy (Kankare i in. 2013). Dokładność sporządzanych modeli i uzyskiwanych wyników uzależniona jest od gęstości punktów pomiarowych, a także zmienności wegetacyjnej roślin (Będkowski i in. 2010). Skaningu lotniczego cechuje się również wysoką przydatnością do szacowania i opisywania procesów zachodzących w drzewostanach. Do obliczania wielu czynników, takich jak np. wielkość

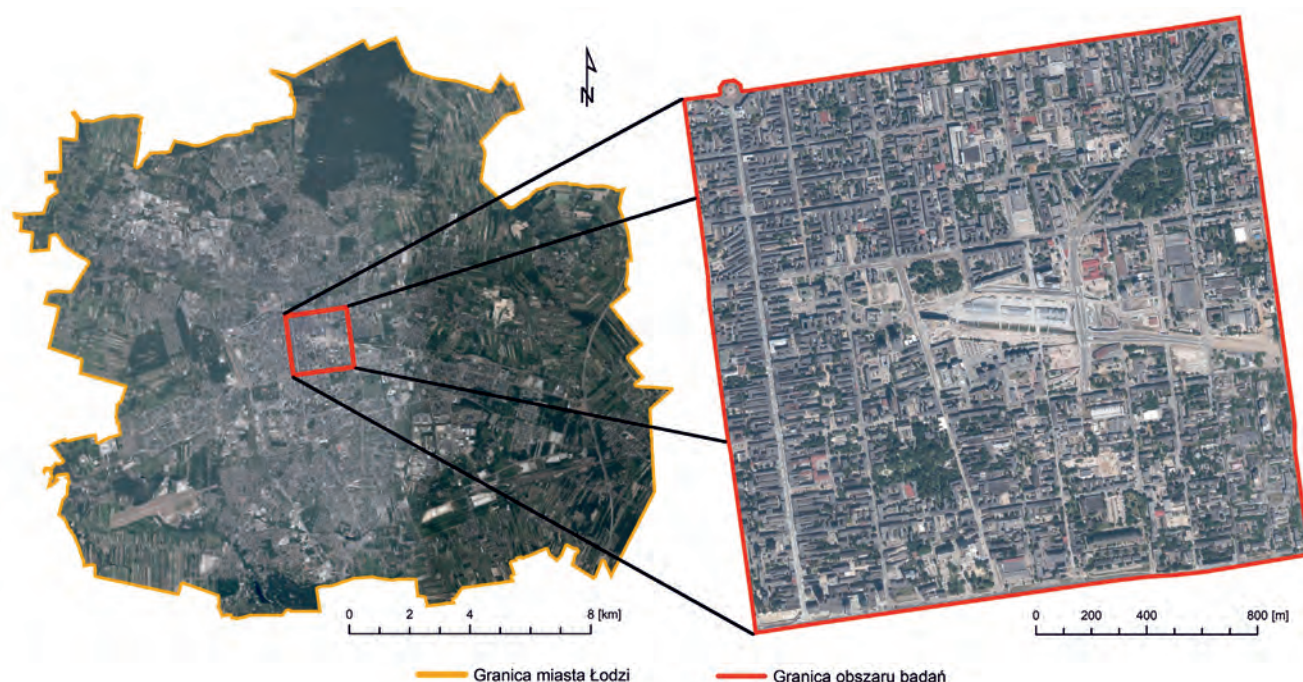
biomasy czy miąższość (objętość drewna), niezbędne są dane o średnicach pni. Fakt powiązań tego i wielu innych parametrów z wysokością drzew daje możliwość wykorzystania technik skanowania laserowego do ich szacowania. Pomiary wysokościowe terenów leśnych za pomocą skanowania laserowego cechują się błędami o podobnym charakterze i wielkości, jak błędy pomiarów wykonanych za pomocą tradycyjnych pomiarów fotogrametrycznych i skanowania naziemnego. Niekiedy pomiary parametrów drzewostanów mogą przebiegać równie skutecznie, a nawet przewyższać dokładność uzyskiwaną z bezpośrednich pomiarów terenowych. Na przykład Marmol i Będkowski (2008) wskazują, że dobre rezultaty określania wysokości pojedynczych drzew daje metoda polegająca na wyznaczeniu w NMPT zasięgu przestrzennego korony drzewa, a następnie przyjęciu maksymalnej wartości w jej obrębie za wysokość drzewa. Natomiast analizując także dokładność metody szacowania wysokości drzew jako różnicy modeli NMPT i NMT doszli do wniosku, że wartość bezwzględna zdecydowanej większości odchylek w porównaniu do rzeczywistego pomiaru terenowego w przypadku obu metod nie przekracza 0,5 m. W świetle przytoczonych wyników należy uznać metodę wyznaczania wysokości roślinności za pomocą modeli zNMPT za wystarczająco dokładną i odpowiednią dla potrzeb badań miejskich.

Materiały i metody

Obszar badań

Badania dotyczą fragmentu centrum Łodzi (ryc. 1), zbliżonego kształtem do kwadratu o boku około 2 km, ograniczonego placem Wolności oraz ulicami Legionów i Pomorską od północy, S. Kopcińskiego od wschodu, J. Piłsudskiego oraz A. Mickiewicza od południa, T. Kościuszki i Zachodnią od zachodu. Za granicę obszaru przyjęto środki pasów drogowych wyżej wymienionych ulic. Całkowita jego powierzchnia wynosi 4,00819 km², co stanowi niecałe 1,4% powierzchni miasta. Zakres czasowy badań to lata 2012–2015, z których pochodzą materiały źródłowe.

Czynnikiem decydującym o wyborze tego obszaru była jego różnorodność, położenie z dala od obrzeży miasta o niskim zaludnieniu, a jednocześnie charakterystyczne elementy tkanki miejskiej, takie jak: zwarta zabudowa wielorodzinna, tereny komunikacyjne, parki oraz obszary pokryte roślinnością nie ujęte w definicji znajdującej się w Ustawie o ochronie przyrody z 16 kwietnia 2004 roku. Przedmiotem analiz jest cała roślinność znajdująca się na wskazanym obszarze, w tym jej 3 większe skupiska: Park im. Stanisława Staszica w północno-wschodniej części, Park im. Stanisława Moniuszki w centrum obszaru oraz Park im. Henryka Sienkiewicza na południowym zachodzie.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań w przestrzeni Łodzi na tle ortofotomapy (źródło danych: WODGiK, Łódź)

Fig. 1. Location of study area in Łódź, background – a RGB orthophotomosaic (data source: WODGiK, Łódź)

Dane źródłowe i ich charakterystyka

W badaniach wykorzystano następujące dane:

- ortofotomapy w kompozycjach RGB i CIR,
- zNMPT obliczony na podstawie wyników lotniczego skanowania laserowego,

- wektorowe warstwy dróg oraz pozostałych ciągów komunikacyjnych,
- informacje o rozmieszczeniu ludności.

Ortofotomapy o godle „M-34-3-D-b-4” (z 2015 r.) uzyskano z zasobów Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Łodzi. Do badań

roślinności niezbędne było uzyskanie, obok arkusza w barwach naturalnych – RGB, drugiego arkusza ortofotomapy w kompozycji barwnej w podczerwieni – CIR. Powyższe materiały cechują się dobrą szczegółowością o rozdzielczości terenowej wynoszącej 0,25 m. Informacje o ukształtowaniu powierzchni topograficznej w formie danych numerycznych uzyskano z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK). Z tego samego zasobu uzyskano chmurę punktów lotniczego skanowania laserowego (ALS) o gęstości 12 punktów m^{-2} . Dane te wytworzono na potrzeby państwowego projektu pod nazwą „Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami – ISOK”. Aktualność materiałów dla obszaru badań to rok 2012. Warstwę dróg oraz pozostałych ciągów komunikacyjnych pobrano z serwisu Open Street Map. Aktualność tych danych wskazuje na rok 2018, więc konieczna była ich wizualna analiza z pomocą posiadanej ortofotomapy w barwach naturalnych, a także korekta w celu ujednoczenia materiałów. Warstwę tą wykorzystano do kategoryzacji zieleni na ogólnodostępną (tą bez ograniczeń, jeśli chodzi o możliwość przebywania na obszarze zajęтым przez nią) i niedostępną.

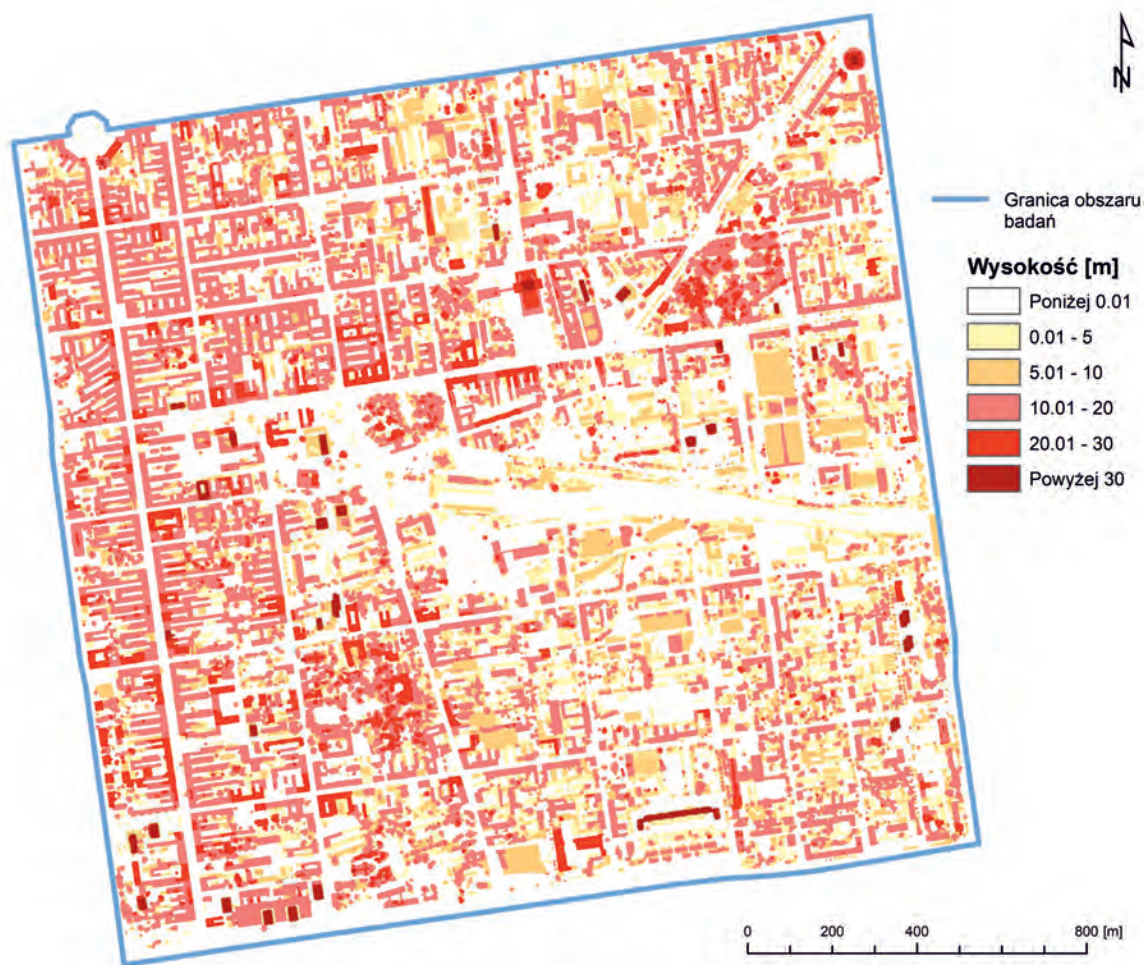
Przypisania liczby mieszkańców do budynków mieszkalnych analizowanego terenu dokonano poprzez zin-

tegowanie liczby mieszkańców na podstawie rejestru wyborców na poszczególnych osiedlach (UMŁ 2016) z przeliczonymi całkowitymi powierzchniami obiektów mieszkalnych w tych regionach (uwzględniając liczbę kondygnacji). Informacje przestrzenne o budynkach pochodzą z Ewidencji Gruntów i Budynków.

Metody przetwarzania danych

Obszary, na których występuje roślinność wyznaczono na podstawie posiadanej ortofotomapy w kompozycji CIR. Do tego celu użyto popularnego indeksu spektralnego NDVI (Rouse i in. 1973). Wynikowy raster został przeklasyfikowany w ten sposób, że piksele które przyjmowały wartość NDVI równą bądź większą od 0,1, sklasyfikowano jako tereny pokryte roślinnością. Przyjęto minimalną powierzchnię obiektu równą $1 m^2$ w celu eliminacji błędnie rozpoznanych oraz nieznaczących obiektów.

Wysokość, a następnie objętość wyodrębnionych terenów pokrytych roślinnością wyznaczono na podstawie zNMPT, będącego różnicą NMPT oraz NMT, o pikselach wielkości $1 \times 1 m$ (ryc. 2). Operacja ta pozwoliła uzyskać faktyczne wysokości obiektów znajdujących się na opracowywanym obszarze.



Ryc. 2. Znormalizowany Numeryczny Model Pokrycia Terenu (zNMPT) dla badanego terenu

Fig. 2. Normalized Digital Surface Model (nDSM) of analyzed location

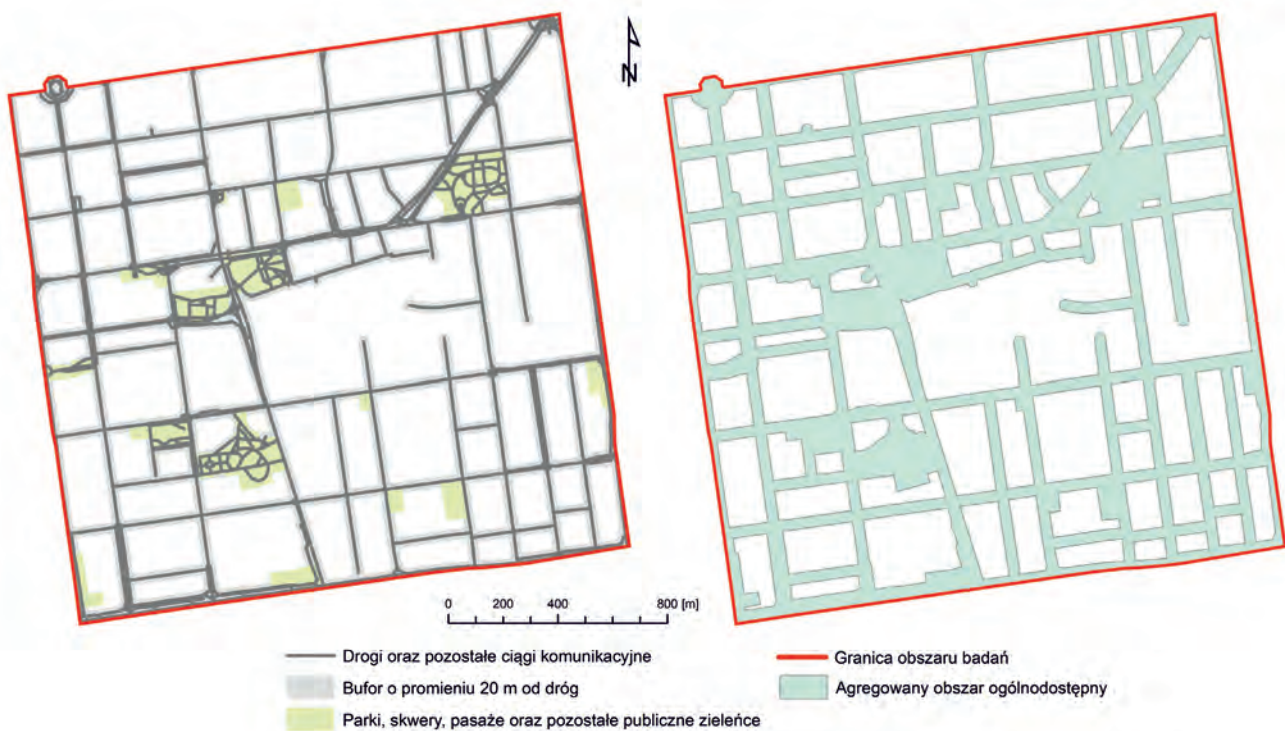
Otrzymane dane skorelowano następnie z rozmieszczeniem roślinności wyodrębnionej w poprzednich krokach. W rezultacie uzyskano rastrową warstwę reprezentującą wyłącznie obszary pokryte roślinnością oraz posiadającą atrybut wysokości. W dalszym etapie dokonano reklasyfikacji rastra do trzech klas wysokości roślinności:

- **niska** ($h \leq 0,4$ m)
- **średniowysoka** ($0,4 < h \leq 2$ m)
- **wysoka** ($h > 2$ m)

Zdecydowano także o podzieleniu roślinności na ogólnodostępną dla każdego mieszkańca oraz niedostępną, zamkniętą. Dla mieszkańców znaczenie ma bowiem, czy znajdujące się w niewielkiej odległości tereny pokryte roślinnością mają charakter publiczny (parki, skwery) oraz wpływają na estetykę otoczenia, czy też są to obszary w jakimś stopniu niedostępne, jak na przykład nasadzenia na prywatnych posesjach lub drzewa w zamkniętych podwórzach kamienic.

Kategorię roślinności dostępnej stanowią wszystkie przestrzenie publiczne zawierające roślinność, takie jak parki, skwery, pasaże i tzw. zieleńce. Każdy z obszarów

był ręcznie digitalizowany na podstawie ortofotomapy w barwach naturalnych oraz posiadanych informacji o terenie. Należy tu także roślinność znajdująca się w bezpośredniej okolicy ulic, chodników oraz pozostałych ciągów komunikacyjnych. Bazą do wyznaczenia takich stref była warstwa dróg pochodząca z serwisu Open Street Map. Na podstawie ortofotomapy RGB, aktualnej na rok 2015, dokonano sprawdzenia oraz korekcji układu i przebiegu ulic. Usunięto także odcinki dróg sklasyfikowane jako *proposed* – proponowane, *service* – serwisowe oraz *cycleway* – rowerowe. Od tak przygotowanej warstwy liniowej wytyczono bufor o wartości promienia 20 m (ryc. 3). Przyjęto, że przestrzenie o zadanych parametrach obejmują zdecydowaną większość roślinności ulicznej i innej w bezpośrednim sąsiedztwie szlaków codziennego poruszania się ludności miejskiej na badanym obszarze. Roślinność w obrębie takich stref stanowi nierozłączną część codziennego życia mieszkańców i uzasadnione jest, by uznać powyższe obszary jako publiczne. W ostatnim kroku dokonano podziału całej rozpoznanej roślinności na ogólnodostępną oraz niedostępną.

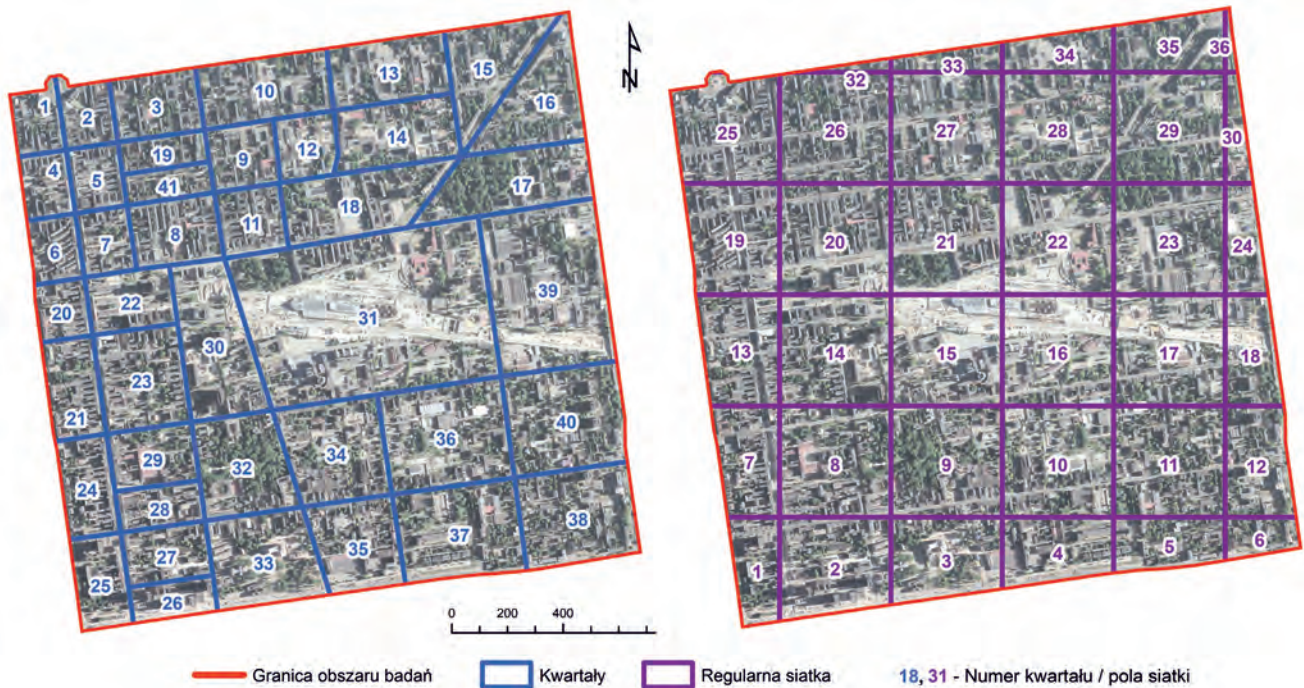


Ryc. 3. Sieć dróg oraz strefa terenów zidentyfikowanych jako roślinność dostępna

Fig. 3. Road net and zones identified as accessible green areas

W celu przedstawienia zmienności rozmieszczenia zieleni miejskiej, zdecydowano o podzieleniu obszaru na mniejsze jednostki powierzchniowe, z wykorzystaniem dwóch odmiennych metod fragmentacji terenu. Pierwsza z nich to wydzielenie 41 kwartałów ulic. Jest to podejście niemal naturalne, zgodne z tkanką miejską i układem przestrzennym zabudowy. Kwartały wyznaczone zostały od podstaw według przebiegu ulic, na

podstawie nieznacznie zmodyfikowanego podziału, jaki przyjął Lamprecht (2017). Jednostki te znacząco różnią się od siebie powierzchnią, kształtem oraz „treścią” (ryc. 4). Zdecydowaną większość pól łączy jednak to, że każde z nich obejmuje w swoich granicach zarówno zabudowę, jak i większe bądź mniejsze obszary zajęte przez roślinność.



Ryc. 4. Dwie metody podziału obszaru badań – wg kwartałów oraz regularnej siatki

Fig. 4. Study area divided by using city quarters and schematic partitioning

Drugi sposób polega na podziale obszaru badań regularną siatką składającą się domyślnie z kwadratów o boku 400 metrów, którą następnie przycięto do zasięgu obszaru badań. Zawiera 36 jednostek odniesienia. Tak przygotowane dwie opcje podziału obszaru wykorzystano do przedstawienia rozkładu przestrzennego i wielkości różnych parametrów roślinności.

Dane dotyczące liczby ludności zamieszkującej obiekty mieszkalne wykorzystano do obliczenia liczby mieszkańców w polach zgodnie ze stworzonym podziałem na kwartały oraz siatkę. W przypadku podziału zgodnego z układem ulic, granice wydzielonych fragmentów terenu nie przecinają budynków, więc liczba mieszkańców pojedynczego pola odniesienia stanowi sumę ludności w obiektach znajdujących się w jego obrębie. Inaczej jest w wypadku podziału za pomocą regularnej siatki (ryc. 5). Wiele z budynków zostało podzielonych na dwie lub więcej części. W takiej sytuacji postanowiono obliczyć współczynnik wyrażający stosunek powierzchni przeciętych obiektów do oryginalnej powierzchni budynków. Następnie otrzymaną wartość pomnożono przez pierwotną liczbę mieszkańców. Tak przygotowane dane ludnościowe przeliczono do pól podstawowych obydwu wariantów podziału. W rezultacie otrzymano zaludnienie agregowane do większych jednostek przestrzennych, które można interpretować wraz z obliczonymi parametrami roślinności.

Do obliczenia wartości parametrów dotyczących powierzchni i objętości roślinności wykorzystano dwa rodzaje danych: poligony oraz rastry zawierające dane wysokościowe. W pierwszym etapie policzono powierzchnię roślinności w poszczególnych kwartałach i polach

siatki za pomocą wcześniej wykorzystanej metody. Drugim krokiem było obliczenie objętości roślinności w tych samych jednostkach odniesienia.

Analogiczne procesy zastosowano do wyliczenia, w oczkach jednostek odniesienia, powierzchni i objętości: roślinności wysokiej (powyżej 2 metrów), roślinności ogólnodostępnej ogółem oraz roślinności ogólnodostępnej wysokiej. Otrzymane wielkości przeliczono na jednostkę powierzchni, a także na 1 mieszkańca.



Ryc. 5. Rozkład przestrzenny budynków mieszkalnych

Fig. 5. Spatial distribution of residential buildings

Wyniki

Obszary rozpoznane jako pokryte roślinnością

Roślinność jest rozmieszczona na analizowanym fragmencie miasta nierównomiernie (ryc. 6). W samym centrum obszaru znajduje się duży obszar pozbawiony roślinności, którym jest teren największego łódzkiego dworca kolejowego Łódź Fabryczna. Mało roślinności spotkać można także na podłużnym pasie obok zachodniego krańca terenu. Jest to reprezentacyjna ulica Piotrkowska oraz tereny i podwórza do niej przyległe. Kontrast widoczny jest we wschodniej części, a szczególnie w południowo-wschodniej ćwiartce obszaru. Ten fragment miasta cechuje się dużym udziałem roślinności ulicznej oraz innej. Trzy większe skupiska koloru zielonego na mapie, dość wyraźnie odznaczające się na badanym obszarze, to wspomniane wcześniej parki miejskie. Na analizowanym fragmencie roślinność rozmieszczona jest nierównomiernie, a w niektórych miejscach łatwo zauważyć znaczne braki na ulicach i pozostałych ciągach komunikacyjnych.

Klasyfikacja roślinności według wysokości

Podział roślinności na 3 klasy wysokościowe pozwala określić charakter obszaru, na którym się znajduje (ryc. 6). W miejscach występowania parków na mapie dostrzec można zdecydowaną przewagę obszarów gęsto zadrzewionych. Najmniej widoczne są rejony pokryte krzewami. Roślinność o wysokości poniżej 0,4 m rozproszona jest na całym obszarze. Stanowi ona między innymi główny składnik zieleńców miejskich oraz terenów wśród pasów drogowych.



Ryc. 6. Roślinność obszaru badań z podziałem na klasy wysokości

Fig. 6. Green areas with regard to height classes

Klasyfikacja roślinności według dostępności¹ dla mieszkańców

Mapa dostępności zieleni miejskiej przedstawia poglądowo, jaka jej część jest otwarta i dostępna dla mieszkańców danego fragmentu miasta (ryc. 7). Widoczny jest wyraźny podział znaczenia poszczególnych, nawet dosyć dużych terenów pokrytych roślinnością.



Ryc. 7. Zielień obszaru badań z podziałem według dostępności
Fig. 7. Green areas with regard to accessibility

Obszary w południowo-wschodniej oraz wschodniej części badanego fragmentu miasta cechują się stosunkowo dużą powierzchnią zieleni niedostępnej. Oznacza to, że duża ilość roślinności „ukryta” jest wewnątrz przyulicznych zabudowań. Podobnie jest w przypadku zachodniego krańca obszaru. Większość z tych i tak małych zasobów roślinności znajduje się na terenach zamkniętych – w podwórzach kamienic.

Poprzez połączenie map obszarów roślinności ogólnodostępnej i tej o wysokości powyżej 2 metrów uzyskano informację o rozmieszczeniu terenów zieleni najbardziej pożądaných przez mieszkańców w przestrzeni miejskiej (ryc. 8). Roślinność wysoka bowiem pozytywnie wpływa na jakość powietrza poprzez filtrację spalin, zmniejsza także natężenie hałasu oraz rzuca cień, przez co reguluje temperaturę okolicy.

Wyróżniają się trzy obiekty parkowe z rozwiniętym drzewostanem, ale także regularna struktura przydrożnych drzew w północno-wschodnich oraz południowo-wschodnich fragmentach obszaru badań (ryc. 8). Północno-zachodnia część terenu cechuje się natomiast wyjątkowo skromnym udziałem zieleni ogólnodostępnej wysokiej.

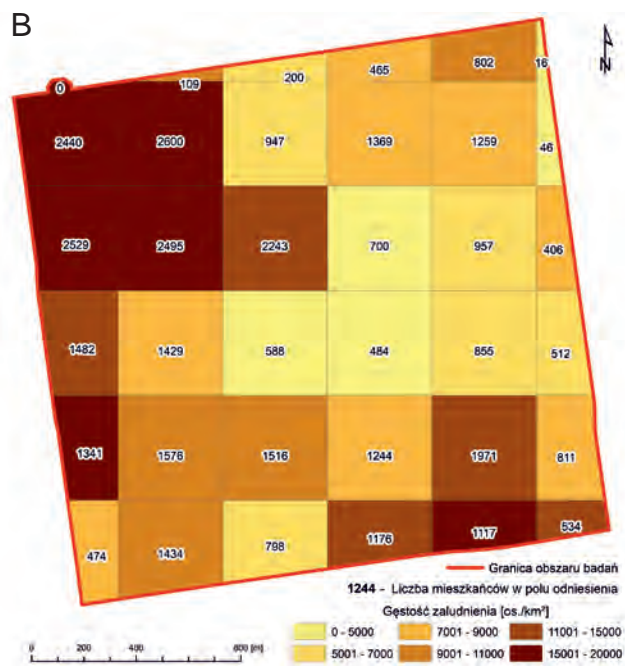
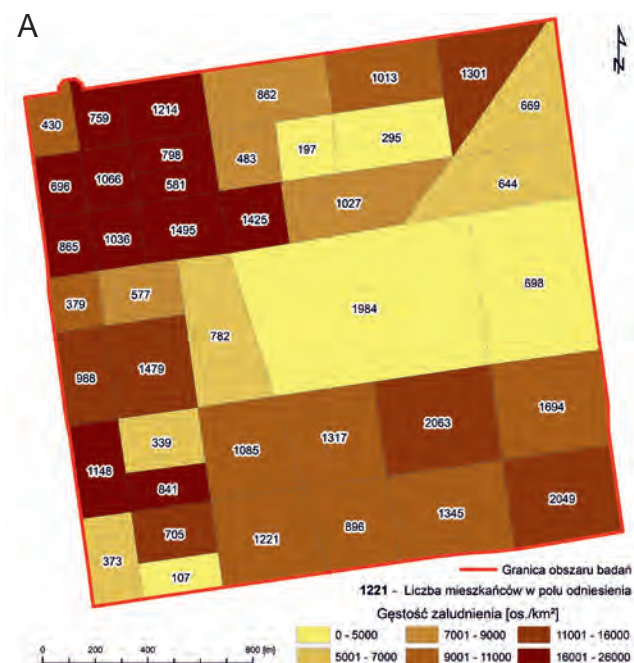
¹ Pojęcie dostępności roślinności, w znaczeniu przyjętym w niniejszym artykule, zdefiniowano we wstępie.



Ryc. 8. Zielen ogólnodostępna wysoka
Fig. 8. Free accessible green areas

Zaludnienie obszaru badań

Według zastosowanej metodologii stwierdzono, że obszar badań zamieszkuje 38 925 osób. Najwyższą gęstość zaludnienia zaobserwować można w północno-zachodnim narożniku analizowanego fragmentu miasta (ryc. 9ab). Są to tereny położone w niewielkiej odległości od Placu Wolności i początku ulicy Piotrkowskiej. Inną strefą o większym zagęszczeniu ludności jest południowo-wschodni obszar.



Ryc. 9. Gęstość zaludnienia obszaru badań – w kwartałach (A) i regularnej siatce (B)

Fig. 9. Population density [no of inhabitants km^{-2}] in city quarters (A) and schematic units (B)

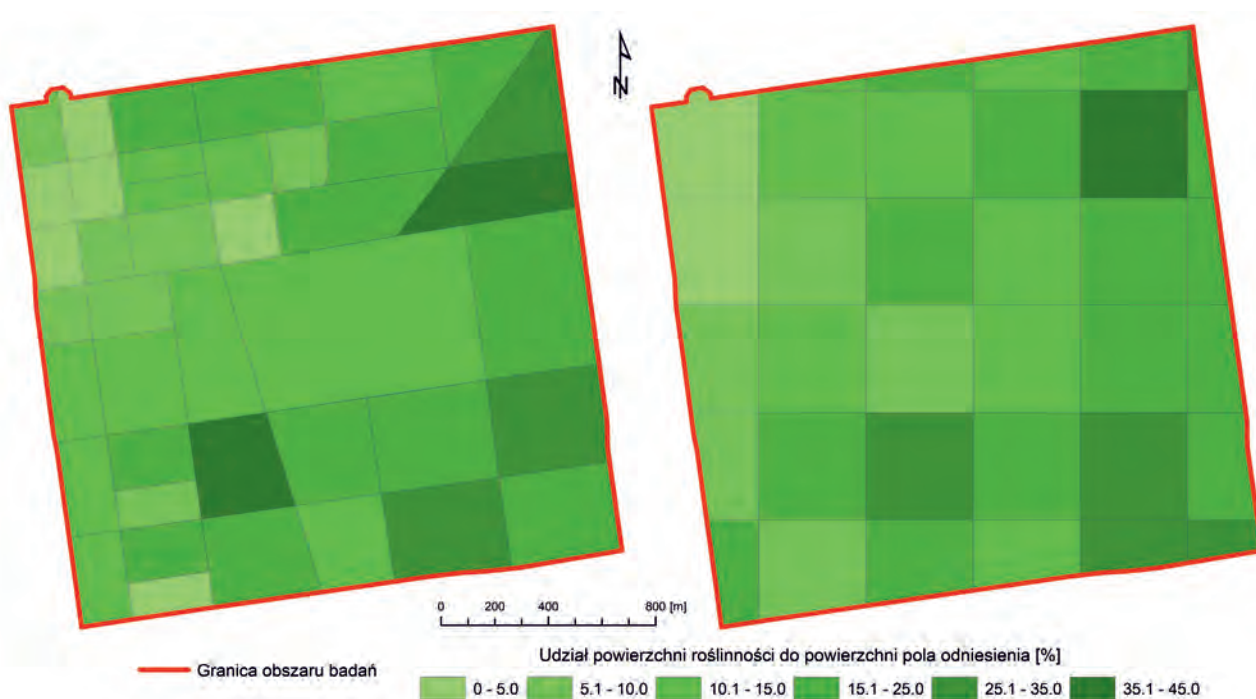
Najmniej zaludnione są pola w centrum badanego obszaru. Zamieszkuje je tylko od 484 do 700 osób. Wynika to z lokalizacji w tym fragmencie terenu budynków niemieszkalnych – dworca kolejowego Łódź Fabryczna oraz związanej z nim infrastruktury. W części północno-wschodniej, a także południowo-zachodniej zaobserwować można natomiast średnie wartości gęstości zaludnienia.

Zróznicowanie przestrzenne zieleni miejskiej (ujęcie powierzchniowe)

Na ryc. 10 przedstawiono udział [%] powierzchni rozpoznanej jako pokryta roślinnością w powierzchni pola odniesienia.

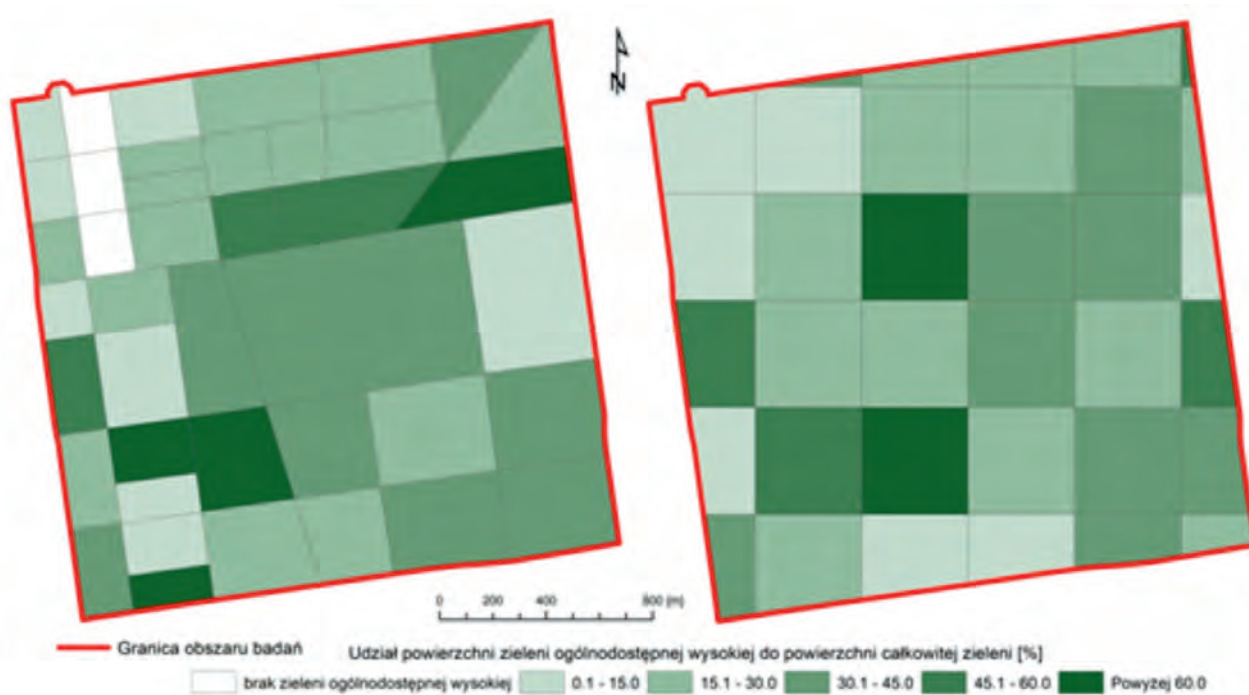
Udział roślinności ukazano za pomocą kartogramu skokowego przyjmującego różne odcienie barwy zielonej. Najciemniejszy kolor reprezentuje udział powierzchni pokrywy roślinnej osiągającej wartości od 35,1 do 45% w polu podstawowym. Zarówno w przypadku podziału na kwartały, jak i siatkę, najwyższe wartości wskaźnika można dostrzec w północno-wschodniej części obszaru. Pola te objęły zasięgiem znajdujący się w tym rejonie park. Pozostałe jednostki z wysokimi wartościami udziału procentowego rozmieszczone są między innymi we wschodnich oraz południowych fragmentach terenu. W obu wariantach pola cechujące się najniższym wskaźnikiem znajdują się w północno-zachodnim krańcu analizowanego obszaru.

Sporządzono także, z wykorzystaniem wcześniej stosowanych metod, mapy przedstawiające udział powierzchni roślinności ogólnodostępnej wysokiej w całkowitej powierzchni zajętej przez roślinność rozpoznaną na analizowanym obszarze (ryc. 11).



Ryc. 10. Udział powierzchni pokrytej roślinnością w powierzchni pola odniesienia – w kwartałach i regularnej siatce

Fig. 10. Share of areas covered by urban green – in city quarters and schematic units



Ryc. 11. Udział powierzchni zajętej przez zielen ogólnodostępną wysoką w całkowitej powierzchni pokrytej przez roślinność – w kwartałach i regularnej siatce

Fig. 11. Share [%] of free accessible greenery area within areas recognized as green-covered – in city quarters and schematic units

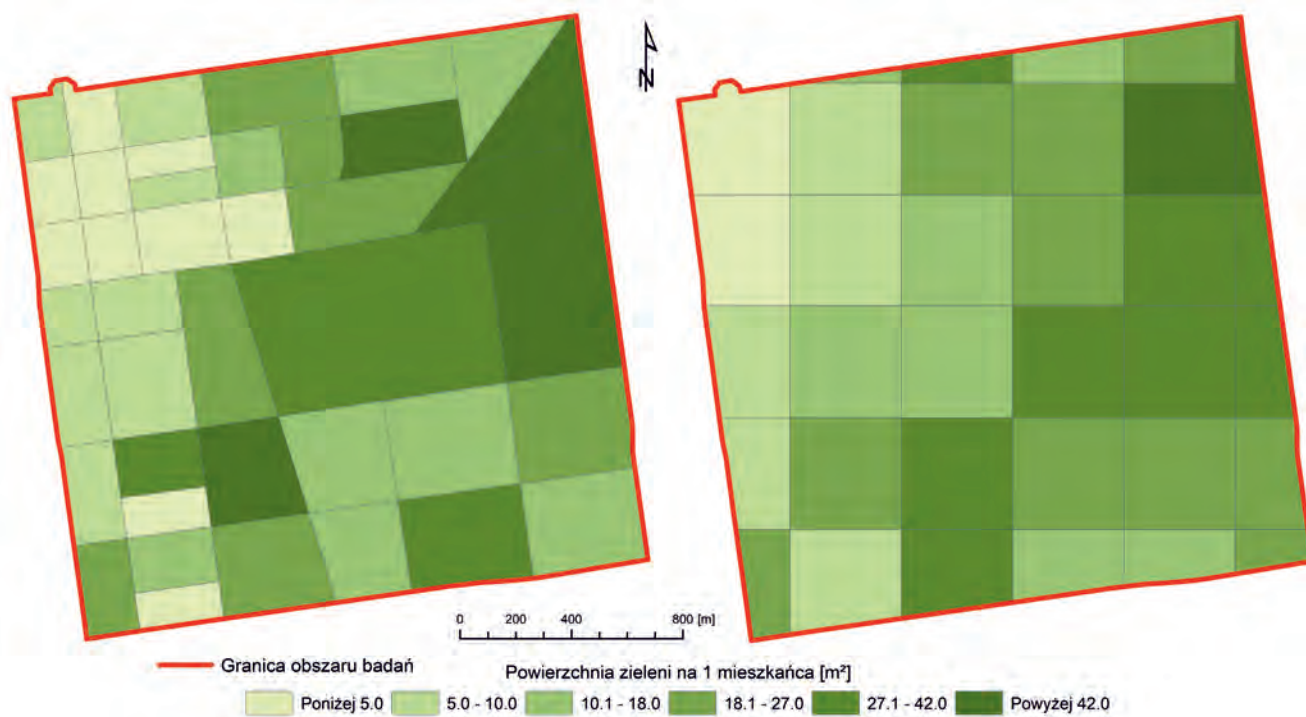
Na mapie z podziałem na kwartały widoczne są trzy pola odniesienia, wyróżniające się brakiem badanej roślinności ogólnodostępnej wysokiej w północno-zachodnim narożniku obszaru. Wartości najwyższe – powyżej 45 i 60% występują w kwartałach w części południowo-

-zachodniej oraz centralnej. Graniczą one z największym kwartałem analizowanego terenu, zawierającym obszar Nowego Centrum Łodzi. W przypadku podziału siatką, jednostki podziału reprezentujące wysoki udział procentowy znajdują się głównie w środkowo-zachod-

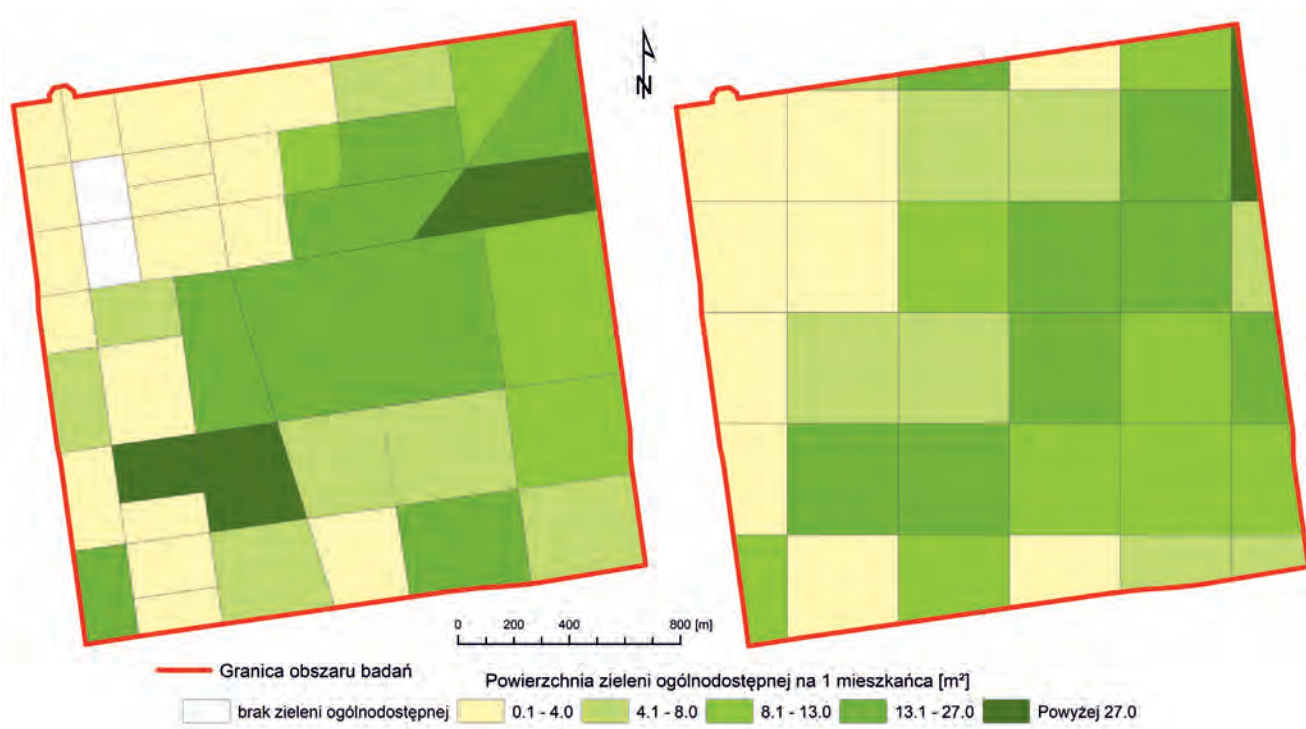
nim fragmencie terenu. Maksymalnie odnotowano udział na poziomie 72,7%.

Na ryc. 12–14 przedstawiono zmienność przestrzenną parametrów charakteryzujących pokrycie terenu przez roślinność w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Zwraca

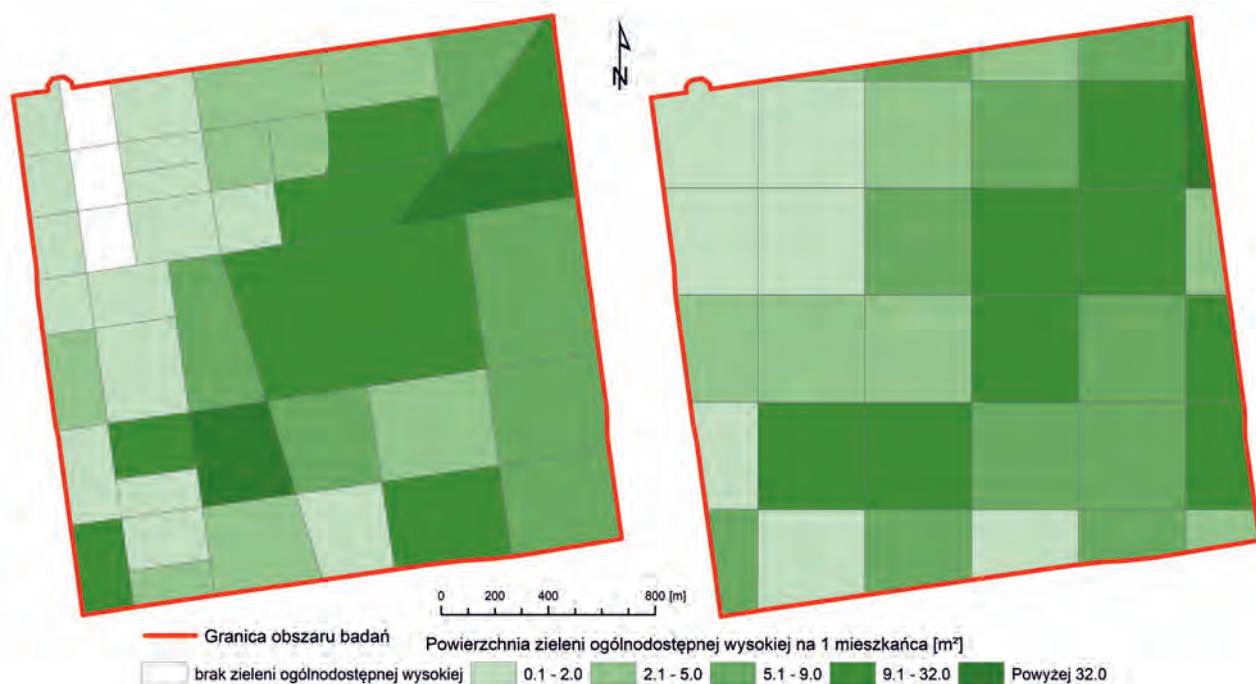
uwagę kierunkowy (ze wschodu na zachód) spadek wskaźników, co wyraźnie wynika z kierunkowego układu przestrzennego zarówno gęstości zaludnienia (ryc. 9), jak i pokrycia terenu roślinnością (ryc. 10).



Ryc. 12. Pokrycie terenu roślinnością w przeliczeniu na jednego mieszkańca – w kwartałach i regularnej siatce
Fig. 12. Urban green coverage [m² per capita] – in city quarters and schematic units



Ryc. 13. Powierzchnia zieleni ogólnodostępnej w przeliczeniu na jednego mieszkańca – w kwartałach i regularnej siatce
Fig. 13. Free accessible urban green coverage [m² per capita] – in natural and schematic units

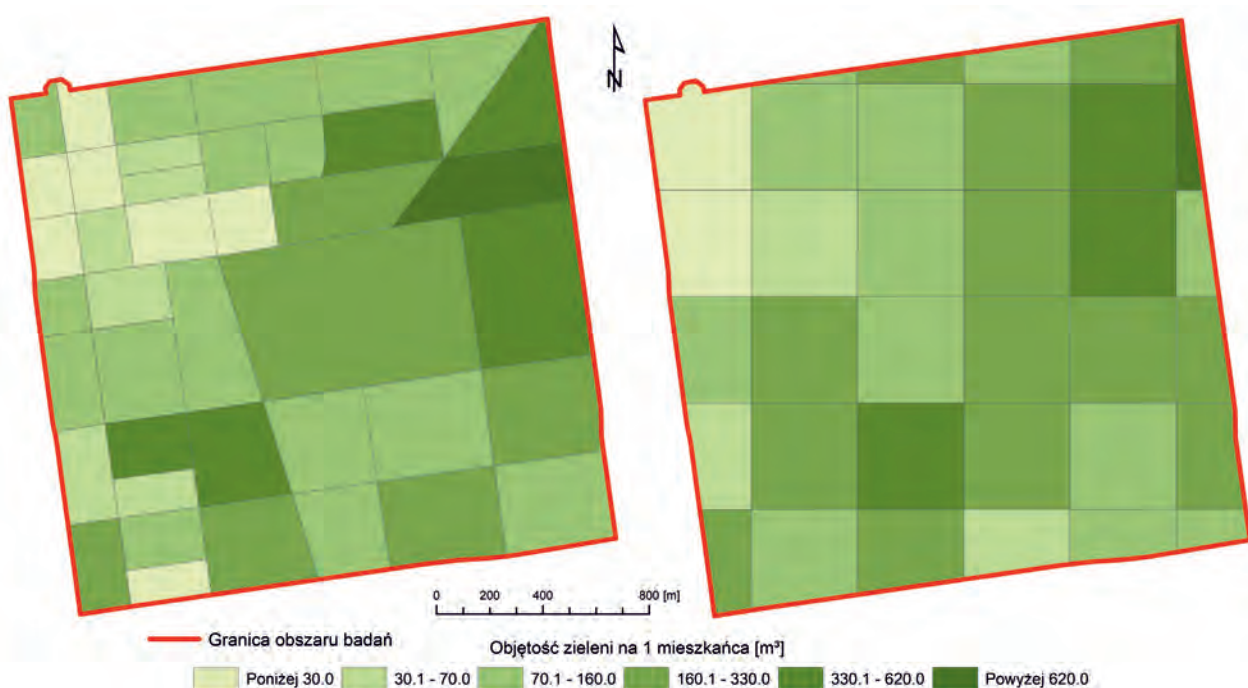


Ryc. 14. Powierzchnia zieleni ogólnodostępnej wysokiej w przeliczeniu na jednego mieszkańca – w kwartałach i regularnej siatce
 Fig. 14. Free accessible high (>2 m) urban green coverage [m² per capita] – in city quarters and schematic units

Zróźnicowanie przestrzenne zieleni miejskiej (ujęcie wolumetryczne)

Wszystkie formy zieleni spełniają istotne role w kształtowaniu przyjaznej dla mieszkańców przestrzeni miejskiej, jednak największe znaczenie ma roślinność wysoka. Dużo o roślinności mówią już wyniki pomiaru wysokości drzew i krzewów, jednak najlepszą możliwość

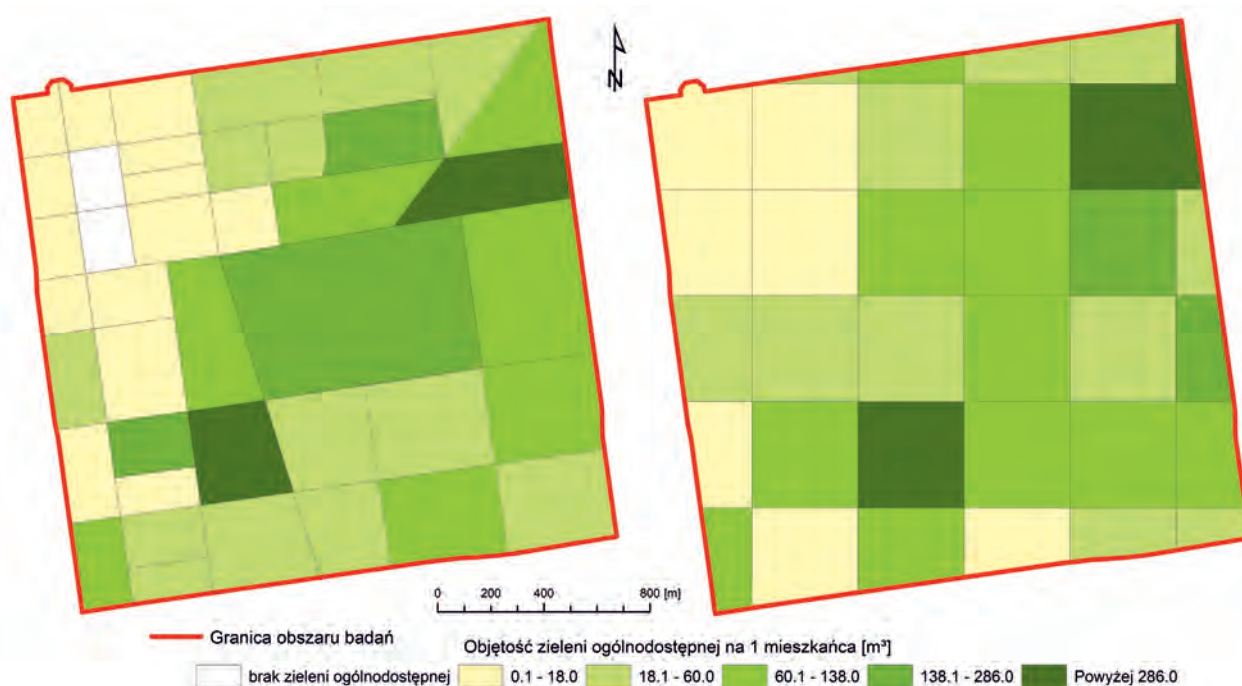
uwzględnienia trzeciego wymiaru roślinności uzyskuje się poprzez wyznaczenie jej objętości, a ściślej łącznej objętości przestrzeni zajętej przez roślinność oraz bezpośrednio pod nią. Na ryc. 15–17 przedstawiono zmienność przestrzenną objętości roślinności w przeliczeniu na 1 mieszkańca, z uwzględnieniem wysokości oraz możliwości przebywania na tych terenach dla wszystkich mieszkańców.



Ryc. 15. Objętość zieleni w przeliczeniu na 1 mieszkańca – w kwartałach i regularnej siatce
 Fig. 15. Volume of greenery [m³ per capita] – in city quarters and schematic units

Mapy przedstawione na ryc. 15 wykonano z sześcioma przedziałami wskaźnika objętości. Wyznaczono je za pomocą metody przedziałów naturalnych (Pieniążek i Zych 2017) odpowiednio uśrednionej dla obu wariantów podziału terenu. Ponownie wyróżnia się tutaj północno-zachodni fragment obszaru, cechujący się w obu przypadkach polami podstawowymi z wartościami poniżej 30 m^3 roślinności przypadającej na 1 mieszkańca. Największe wskazania parametru objętości odnotować można w wybranych jednostkach odniesienia w północno-wschodnich oraz południowo-zachodnich częściach terenu. Maksymalna odnotowana wartość kubatury w pojedynczym polu odniesienia wynosi $1043,9 \text{ m}^3$ na jednego mieszkańca.

Następne mapy dotyczą zieleni ogólnodostępnej. Obliczono objętość roślinności przypadającą na 1 mieszkańca dla każdego pojedynczego pola podstawowego (ryc. 16). Można zauważyć pojawienie się jednostek odniesienia nieposiadających roślinności ogólnodostępnej. Do ich oznaczenia użyto koloru białego. Pozostałe 5 przedziałów objętości wyznaczono za pomocą metody przedziałów naturalnych uśrednionych do wartości w kwartałach i siatce. Do ich reprezentacji wykorzystano barwy od jasnej żółtej, symbolizującej wyjątkowo mały zasób roślinności ogólnodostępnej w jednostce odniesienia, aż do jasnych i ciemnych odcieni barwy zielonej, dla największych wartości zasobów.



Ryc. 16. Objętość zieleni ogólnodostępnej w przeliczeniu na 1 mieszkańca – w kwartałach i regularnej siatce
 Fig. 16. Volume of free accessible greenery [m^3 per capita] – in city quarters and schematic units

Obraz rozmieszczenia objętości roślinności ogólnodostępnej (na 1 mieszkańca) dla zastosowanych podziałów terenu jest nieznacznie odmienny. W przypadku podziału według kwartałów wystąpiły dwa wcześniej wspomniane pola podstawowe, cechujące się całkowitym brakiem roślinności ogólnodostępnej. Zakres wyników wynosi od 0 do $914,9 \text{ m}^3$. Tutaj także zauważyć można ukośny pas jednostek odniesienia o wartościach powyżej 138 m^3 roślinności na 1 mieszkańca, biegnący od południowego zachodu na północny wschód. Tymczasem pola siatki regularnej o takich parametrach widoczne są jedynie na wschodnim krańcu obszaru oraz pojedynczo w części południowej. W obu przypadkach natomiast północno-zachodni narożnik cechują najmniejsze wartości wskaźnika.

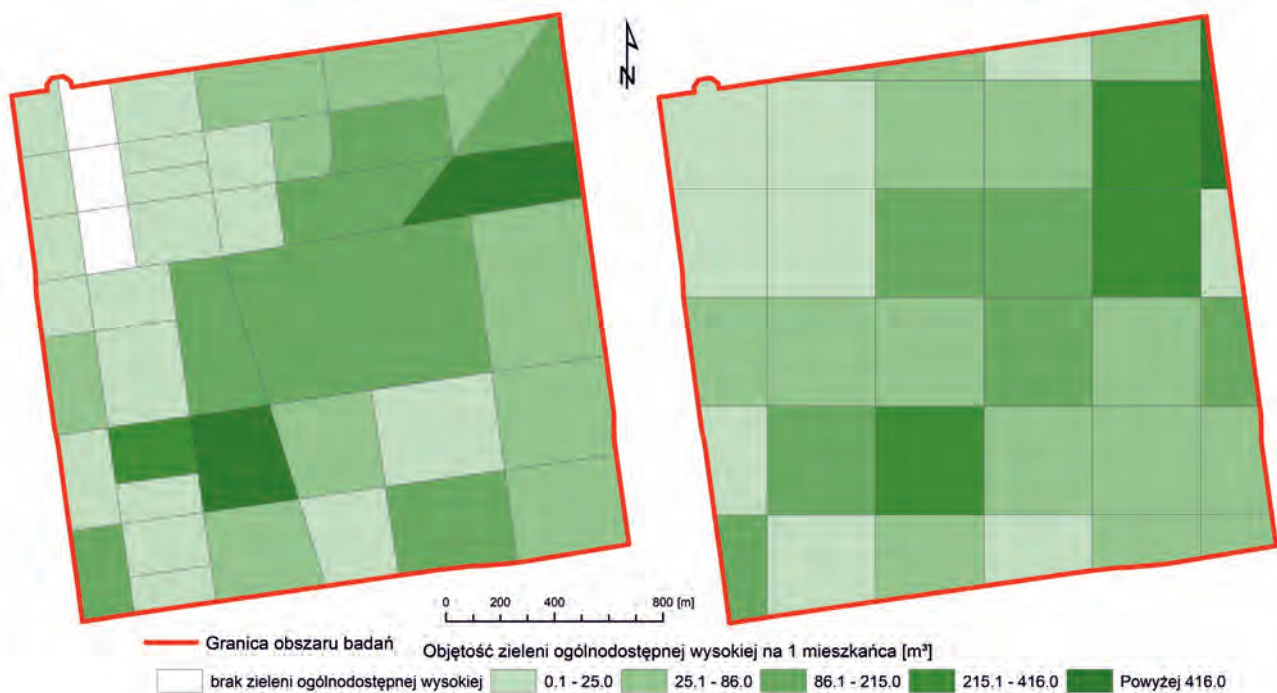
Ostatnia para map pokazuje objętość roślinności ogólnodostępnej wysokiej, w przeliczeniu na 1 mieszkańca (ryc. 17), w poszczególnych jednostkach podziału terenu, według kwartałów ulic i regularnej siatki. Po-

zwalają one wyodrębnić najbardziej cenione pod względem przyrodniczym fragmenty analizowanego obszaru.

Wyróżniają się dwa kwartały w południowo-zachodniej części terenu o dużej wartości wskaźnika – jeden zawierający Park im. Henryka Sienkiewicza oraz drugi graniczący z nim, a także jeden kwartał na północnym-wschodzie obejmujący Park im. Stanisława Staszica. Maksymalna kubatura w pojedynczym polu podstawowym przyjmuje wartość $897,1 \text{ m}^3$ roślinności na jednego mieszkańca. W przypadku drugiego podziału, rozmieszczenie pól o takich wartościach wskaźnika jest bardzo podobne, różniąc się jedynie większą liczbą jednostek w północno-wschodnim fragmencie obszaru. Obie metody fragmentacji terenu pokazują również podobne rozmieszczenie pól reprezentujących średnie oraz najniższe współczynniki objętości roślinności wysokiej przypadającej na 1 mieszkańca. Te pierwsze skupiają się głównie w części centralnej, podczas gdy wartości poniżej 25 m^3 na 1 mieszkańca

zaobserwować można na północno-zachodnim oraz zachodnich krańcach terenu. Są to rejony Placu Wolności, a także niektóre fragmenty ulicy Piotrkowskiej. Należy brać pod uwagę, że wyniki uwarunkowane są wiel-

kością pól odniesienia w przypadku kwartałów oraz nieregularnym rozkładem budynków mieszkalnych, a w konsekwencji zmienną gęstością zaludnienia.



Ryc. 17. Objętość zieleni ogólnodostępnej wysokiej w przeliczeniu na 1 mieszkańca – w kwartałach i regularnej siatce
 Fig. 17. Volume of free accessible high greenery [m³ per capita] – in city quarters and schematic units

Dyskusja wyników

Obszary rozpoznane jako roślinność zajmują łącznie 679 681,6 m², co stanowi niemal 17% powierzchni analizowanego fragmentu centrum miasta. Zsumowana kubatura roślinności, bez podziału na kategorie, wynosi 5 994 219 m³. Na wyniki znaczący wpływ mają trzy duże parki miejskie o bogatych zasobach drzewostanu. Na badanym obszarze 4 km² centrum miasta przypada zatem na każdy 1 m² terenu średnio 0,17 m² roślinności w ujęciu powierzchniowym oraz 1,5 m³ w ujęciu wolumetrycznym.

Na analizowanym terenie roślinność najbardziej cenna – tworzona przez wysokie drzewa oraz pozostałą roślinność przewyższającą 2 metry – zajmuje powierzchnię 507 157,6 m², co daje 74,6% udziału w całkowitej powierzchni terenów pokrytych roślinnością oraz kubaturę 5 719 372 m³, tj. 95,4% udziału w łącznej objętości roślinności. W przeliczeniu na każdy 1 m² obszaru przypada: 0,13 m² powierzchni oraz 1,43 m³ roślinności wysokiej.

Większość terenów z roślinnością jest otwarta tylko dla części mieszkańców miasta. W ujęciu powierzchniowym proporcje wynoszą 55 do 45 procent na korzyść roślinności znajdującej się na obszarze o ograniczonym wstępie. Podobnie jest w ujęciu objętościowym – 52 do 48 procent. Na wynik znaczący i korzystny wpływ miały niewątpliwie parki, skwery oraz pasaże, zaliczane według wcześniej opisanych kryteriów do roślinności

ogólnodostępnej. Odnosząc uzyskane wyniki do powierzchni całego obszaru otrzymano: 0,08 m² roślinności ogólnodostępnej na każdy 1 m² terenu w ujęciu powierzchniowym i 0,72 m³ w ujęciu wolumetrycznym.

Tereny z roślinnością o wysokości powyżej 2 m, mające charakter ogólnodostępny dla każdego mieszkańca stanowią jedynie 34% powierzchni całkowitej przestrzeni zajętej przez roślinność. W ujęciu wolumetrycznym roślinność ogólnodostępna wysoka ma objętość 2 759 698 m³, co stanowi 46% całej przestrzeni zajętej przez roślinność. Przeliczając uzyskane wyniki na każdy 1 m² analizowanego obszaru otrzymano: 0,06 m² powierzchni oraz 0,69 m³ kubatury roślinności ogólnodostępnej wysokiej.

Wszystkie wskaźniki odnoszące się do całego analizowanego fragmentu miasta przedstawione zostały w tab. 1, zawierającej powierzchnię i objętość roślinności w ujęciu ogólnym, a także w przeliczeniu na 1 mieszkańca oraz na każdy metr kwadratowy obszaru badań.

Według badań Niewiadomskiego (2013), w 2010 r. w Łodzi tereny zieleni zajmowały 12,43% powierzchni miasta, co oznaczało 49,76 m² w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Jak wspomniano we wstępie, w skład łódzkich, miejskich zasobów terenów zieleni wlicza się duże kompleksy leśne rozmieszczone na obrzeżach miasta. Należy odnotować także, że dziś, po 9 latach, wskaźnik ten z pewnością osiągnąłby wyższe wartości. Ten pozorny wzrost spowodowany byłby znacznym

Tabela 1. Parametry charakteryzujące roślinność na badanym obszarze

Table 1. Characteristics of greenery in the area of the study

Kategoria <i>Category</i>	Parametr <i>Variable</i>	Wartość <i>Quantity</i>	Na 1 mieszkańca <i>Per capita</i>	Na 1 m ² obszaru <i>Per 1 m²</i>
Roślinność ogółem <i>Green areas total</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	679 681,6 m ²	17,46 m ²	0,17 m ²
	Objętość <i>Volume</i>	5 994 219 m ³	153,99 m ³	1,50 m ³
Roślinność wysoka <i>High greenery</i> [>2 m]	Powierzchnia <i>Area</i>	507 157,6 m ²	13,03 m ²	0,13 m ²
	Objętość <i>Volume</i>	5 719 372 m ³	146,93 m ³	1,43 m ³
Roślinność ogólnodostępna <i>Free accessible greenery</i>	Powierzchnia <i>Area</i>	305 967,7 m ²	7,86 m ²	0,08 m ²
	Objętość <i>Volume</i>	2 874 494 m ³	73,85 m ³	0,72 m ³
Roślinność ogólnodostępna wysoka <i>Free accessible high greenery</i> [>2 m]	Powierzchnia <i>Area</i>	231 353,3 m ²	5,94 m ²	0,06 m ²
	Objętość <i>Volume</i>	2 759 698 m ³	70,90 m ³	0,69 m ³

zmniejszeniem się liczby mieszkańców miasta. Wyniki, jakie osiągnięto w roku 2010 i tak wskazują na wyjątkowo dużą powierzchnię zieleni przypadającej na jednego mieszkańca. Według ostatnich danych, powierzchnia terenów zieleni ogólnodostępnej na jednego mieszkańca miasta w Polsce zwiększyła się w latach 2010–2017 z 20,6 do 21,6 m² (Rocznik Statystyczny RP 2018) i podobne wielkości osiągnięto także w woj. łódzkim – 21,5 m² w 2018 r. (Rocznik Statystyczny woj. łódzkiego 2018), a w samej Łodzi powierzchnia miejskich terenów zieleni (w roku 2017) wynosiła 3 476,4 ha, co stanowiło 11,85% powierzchni miasta (Statystyka Łodzi 2018).

Wykonane analizy obszaru położonego w centrum Łodzi dostarczyły dokładnych informacji o wielkości zieleni oraz możliwości obcowania z nią dla jej mieszkańców. Dodatkowo fragmentacja analizowanego terenu na mniejsze jednostki (41 kwartałów lub 36 oczek regularnej siatki) pozwoliła na zobrazowanie zmienności charakterystyk roślinności wewnątrz obszaru badań. W wyniku wykonanej inwentaryzacji stwierdzono, że w badanym rejonie centrum Łodzi przypada 17,46 m² roślinności ogółem (niskiej, średniej i wysokiej) w przeliczeniu na 1 mieszkańca. Porównując ten wynik do rezultatów wcześniej wspomnianych badań Niewiadomskiego (2013) stwierdzono, że w samym centrum miasta na osobę przypada o 65% mniej terenów pokrytych roślinnością niż wynosi średnia wartość na mieszkańca dla całej Łodzi. Interesujące jest, że udział przestrzeni pokrytej roślinnością (17%) w całym analizowanym obszarze jest wyższy niż wartość tego wskaźnika (11,85%) podawana w statystykach dla całego miasta (Statystyka Łodzi 2018). Należy jednak pamiętać o różnicach metodyki wyznaczania tych wielkości, które polegają na tym, że w naszym opracowaniu uwzględniona jest wszelka roślinność, natomiast w oficjalnych statystykach uwzględniana jest tylko roślinność terenów o takim przeznaczeniu, które uzasadniają uznanie ich za tereny zieleni miejskiej. Większe wartości wskaźników

w przeliczeniu na mieszkańca mogą być spowodowane także stosunkowo małą gęstością zaludnienia wybranego fragmentu centrum Łodzi. Znajdują się tu bowiem rozległe tereny dworca kolejowego, a także duża liczba XIX-wiecznych kamienic, a wśród nich wiele opuszczonych z powodu złego stanu technicznego.

Wnioski

W pracy zaprezentowano rzadziej spotykane podejście wolumetryczne do szacowania wielkości zasobów roślinności. Po dodatkowych przetworzeniach danych według wysokości oraz dostępności rozumianej w sensie możliwości wejścia na dany teren, powierzchnia oraz kubatura roślinności przeliczona na jednego mieszkańca istotnie maleją. Najważniejszym dla właściwej oceny zasobów roślinności i jej bezpośredniej obecności jest wskaźnik roślinności ogólnodostępnej wysokiej (powyżej 2 m). Roślinność taka cechuje się otwartą, dostępną dla każdego formą oraz największymi korzystnymi walorami wpływu na otoczenie, a w sumie i na jakość życia.

Dzięki przeprowadzonej inwentaryzacji wszystkich typów roślinności stwierdzono, że faktyczne jej zasoby na badanym obszarze 4 km² centrum miasta są znaczne i przewyższają średnie wielkości obliczone dla całego miasta. Unikatowe podejście wolumetryczne zaprezentowane w niniejszym opracowaniu daje możliwość odmiennej od powszechnie stosowanej analizy zasobów roślinności. Na badanym fragmencie miasta rozmieszczenie roślinności jest nieregularne, a ponad połowa jej zasobów znajduje się w miejscach niedostępnych „z ulicy”, np. w podwórzach kamienic.

Wyniki przedstawione w artykule uzyskano w ramach pracy dyplomowej (Worm 2019) oraz badań własnych przeprowadzonych w Zakładzie Geoinformacji Uniwersytetu Łódzkiego w latach 2018–2019.

Bibliografia

- Będkowski K., 2004, Skanowanie laserowe i jego zastosowanie w leśnictwie, *Roczniki Geomatyki*, 2(4), 33–40.
- Będkowski K., Bielecki A., 2017, Ocena dostępności zieleni w miejscu zamieszkania w miastach z wykorzystaniem NDVI oraz krzywej koncentracji Lorenza, *Teledetekcja Środowiska*, 57(2), 5–14.
- Będkowski K., Brach M., Banaszczyk P., 2010, Sezonowa zmienność rozkładu chmury punktów skanowania laserowego w drzewostanach iglastych i jej związek z cechami taksacyjnymi drzewostanu, *Sylwan* 155(11), 736–748. DOI: 10.26202/sylvan.2010104.
- Bożętka B., 2008, Systemy zieleni miejskiej w Polsce – ewaluacja i problemy kształtowania. *Problemy Ekologii Krajoobrazu*, 22, 49–63.
- Czekiel-Switalska E., 2010, Rola zieleni w mieście na przykładzie centrum Szczecina, *Przestrzeń i Forma*, 13, 165–182.
- Durecka I., 2017, Parki jako element struktury przestrzennej miast Łódzkiego Obszaru Metropolitalnego, Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych (rozprawa doktorska).
- Grigillo D., Kanjir U., 2012, Urban object extraction from digital surface model and digital aerial images, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 215–220.
- Kankare V., Holopainen M., Vastaranta M., Puttonen E., Yu X., Hyypä H., Alho P., 2013, Individual tree biomass estimation using terrestrial laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 75, 64–75. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.10.003.
- Krukowski M., 2018, Modelowanie kartograficzne w ocenie jakości życia w mieście – aspekt zieleni miejskiej w Lublinie, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio B–Geographia, Geologia, Mineralogia et Petrographia*, 73, 7–27.
- Krukowski M., Cebryk P., Płusa, J., 2016, Klasyfikacja terenów zieleni w Lublinie na podstawie zdjęcia satelitarnego IKONOS 2, *Barometr Regionalny. Analizy i prognozy*, 2, 35–44.
- Kubalska J., Preuss R., 2014, Wykorzystanie danych fotogrametrycznych do inwentaryzacji zieleni na terenach zurbanizowanych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 26, 75–86. DOI: 10.14681/afkit.2014.006.
- Lamprecht M., 2017, Osoby starsze w strefie wielkomiejskiej Łodzi. Ujęcie przestrzenne, *Space–Society–Economy*, 20, 23–41.
- Łukasiewicz A., Łukasiewicz S., 2016, Rola i kształtowanie zieleni miejskiej, *Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań*.
- Marmol U., Będkowski K., 2008, Dokładność określenia wysokości drzew na podstawie numerycznego modelu koron drzew opracowanego z wykorzystaniem danych lotniczego skanowania laserowego, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 18, 377–385.
- Myeong S., Nowak D.J., Hopkins P.F., Brock R.H., 2001, Urban cover mapping using digital, high-spatial resolution aerial imagery, *Urban Ecosystems*, 5(4), 243–256.
- Niewiadomski A., 2013, Struktura i znaczenie terenów zieleni w Łodzi na tle dużych ośrodków miejskich w Polsce, *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica*, 12(12), 33–47.
- Pieniążek M., Zych M., 2017, *Mapy statystyczne. Opracowanie i prezentacja danych*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rocznik Statystyczny województwa łódzkiego 2018. *Wojewódzki Urząd Statystyczny w Łodzi, Łódź*.
- Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2018, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rouse J.W., Haas R.H., Deering D.W., Schell J.A., 1973, Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, *Progress Report RSC 1978–2*, Texas A&M University, USA.
- Statystyka Łodzi 2018, *Wojewódzki Urząd Statystyczny w Łodzi, Łódź*.
- Stereńczak K., 2009, Lotniczy skaning laserowy [LiDAR] w badaniach na rzecz ochrony przyrody, *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej*, 11(2), 135–143.
- Stereńczak K., 2013, Określanie zagęszczenia drzewostanów z wykorzystaniem danych z lotniczego skanowania laserowego, *Sylwan* 157(8), 607–617. DOI: 10.26202/sylvan.2012135.
- Stereńczak K., Będkowski K., Weinacker H., 2008, Accuracy of crown segmentation and estimation of selected trees and forest stand parameters in order to resolution of used DSM and nDSM models generated from dense small footprint LIDAR data, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 27–32.
- Straub C., Koch B., 2011, Estimating single tree stem volume of *Pinus sylvestris* using airborne laser scanner and multi-spectral line scanner data, *Remote Sensing*, 3(5), 929–944. DOI: 10.3390/rs090767.
- Strzeleński P., Wencel A., Zawila-Niedźwiecki T., Zasada M., Jagodziński A., Chirrek M., 2007, Wybrane zdalne metody szacowania biomasy roślinnej w ekosystemach leśnych jako podstawa systemu raportowania bilansu węgla, *Roczniki Geomatyki*, 5(4), 7–16.
- Szumacher I., 2011, Funkcje terenów zieleni miejskiej a świadczenia ekosystemów, *Prace i Studia Geograficzne*, 46, 169–176. UML 2016: Urząd Miasta Łodzi, Rejestr wyborców.
- Ustawa 2004: Ustawa o ochronie przyrody z 16 kwietnia 2004 roku, *Dz.U.*, nr 92, poz. 880 (tekst jednolity *Dz.U.* z 20 października 2015 r., poz. 1651).
- Wężyk P., 2006, Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie, *Roczniki Geomatyki*, 4(4), 119–132.
- Wężyk P., Hawryło P., Szostak M., 2016, Determination of the number of trees in the Bory Tucholskie National Park using crown delineation of the canopy height models derived from aerial photos matching and airborne laser scanning data, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 28, 137–156. DOI: 10.14681/afkit.2016.011.
- Wężyk P., Tompalski P., de Kok R., Szostak M., Kukawski M., 2010, Metoda szacowania liczby drzew w drzewostanie z wykorzystaniem danych ALS i ortobrazów, *Sylwan*, 154(11), 773–782. DOI: 10.26202/sylvan.2009230.
- Worm A., 2019, Charakterystyka roślinności miejskiej z wykorzystaniem danych obrazowych oraz skaningu laserowego na przykładzie centrum Łodzi, *Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji (praca dyplomowa, prom. K. Będkowski)*.
- Wysocki C., 2008, Miasto jako specyficzne środowisko życia roślinności, *Nauka–Przyroda–Technologie*, 2(4), 1–10, http://www.npt.up-poznan.net/tom2/zeszyt4/art_25.pdf.