

**NUMERYCZNY MODEL  
ZESPOŁÓW URBANISTYCZNYCH W KRAKOWIE**  
**DIGITAL MODEL OF URBAN COMPLEXES  
IN CRACOW**

**Ireneusz Jędrychowski**

Biuro Planowania Przestrzennego, Urząd Miasta Krakowa

**Słowa kluczowe: zespół urbanistyczny, skanowanie laserowe, LIDAR, ALS**  
**Keywords: urban group, laser scanning, LIDAR, ALS**

## **Wprowadzenie**

Podczas prac planistycznych wręcz niezbędne jest posiadanie numerycznego modelu istniejących zespołów urbanistycznych. Przez zespół urbanistyczny rozumie się zgrupowanie obiektów tworzących całość kompozycyjną wraz z otaczającym je, odpowiednio zagospodarowanym obszarem (placem, ogrodem, ulicami). Powstaje on w wyniku długotrwałych procesów zagospodarowywania przestrzennego danego obszaru i nawarstwiania się zabudowy lub też w wyniku zrealizowania jednego projektu zagospodarowania przestrzennego. Konieczność dysponowania takimi modelami wynika z wielu powodów. Należą do nich potrzeby wizualizacji istniejących zespołów urbanistycznych – samodzielnie oraz z planowanymi obiektami, określenie ciągów i osi widokowych, analizy uwzględniające informację wysokościową, oraz bardzo istotny – właściwe zdefiniowanie dopuszczalnej wysokości zabudowy. Dla celów artykułu jako numeryczny model zespołów urbanistycznych przyjmuje się wektorowy rysunek trójwymiarowych obiektów zlokalizowanych na terenie przedstawionym w postaci TIN (*Triangulated Irregular Network*).

## **Wybór źródła danych do opracowania modelu**

W Urzędzie Miasta Krakowa dostrzegano potrzebę wykonania numerycznych modeli zespołów urbanistycznych. Już w latach 90. ubiegłego wieku podjęto próby ich tworzenia. Bazując na danych z ewidencji budynków tworzono trójwymiarowe obiekty. Budynki stanowiły część istniejącego systemu informacji przestrzennej używanego w Urzędzie. Do wektorowego rysunku lokalizującego poszczególne budynki dopięta była informacja opisowa (np. numer i rodzaj obiektu, liczba kondygnacji). Niestety baza ta nie posiadała informacji o wyso-

kości zabudowy, zmuszając opracowujących model do samodzielnego jej określania (choć informacja o liczbie kondygnacji była bardzo pomocna). Powstałe w ten sposób opracowania, choć bardzo proste, umożliwiały wykonanie podstawowych analiz oraz wizualizacji, jednak były zbyt przybliżone. Mając świadomość ich niedoskonałości szukano innych rozwiązań. Postanowiono skorzystać z możliwości oferowanych przez fotogrametrię. Dla dużej części miasta pozyskano informację o położeniu dachów większych budynków. Uzyskano wektorowy plik zawierający rysunek kalenic i krawędzi okapów zlokalizowanych w trójwymiarowej przestrzeni, gdzie współrzędne płaskie były zgodne z obowiązującym krakowskim układem lokalnym, co umożliwiło współpracę z istniejącymi zasobami. Dzięki temu obrys budynku można było przesunąć (tworząc ściany) do płaszczyzny ograniczonej przez okap dachu. Tą drogą powstały trójwymiarowe bryły o właściwych nachyleniach połączy dachowej wraz z prawidłowo umieszczonymi ścianami. Bazą do uzyskania tych danych były barwne stereoskopowe zdjęcia lotnicze wykonane w skali 1:13 000. Dokładność tak powstałego opracowania była ściśle powiązana ze skalą zdjęć i zdolnościami operatora. Na podstawie rysunku krawędzi dachu wykonano modele, których wiarygodność była już znacząco wyższa. Niestety tą drogą uzyskano informacje jedynie o większych obiektach. Brak było danych o mniejszych budynkach, o detalach obiektów większych, o budowlach technicznych. Brakowało także informacji o istniejącej zieleni – bardzo istotnej dla wyznaczenia osi widokowych. Istniała duża potrzeba pozyskania informacji dokładniejszej oraz o znacznie większym stopniu szczegółowości. Postanowiono sprawdzić w praktyce efekty skanowania laserowego. Skanowanie laserowe często określane akronimami LIDAR (*Light Detection and Ranging*) lub ALS (*Airborne Laser Scanning*), można w uproszczeniu porównać do pomiaru odległości, gdzie dalmierz umieszczony jest na urządzeniu latającym (samolot lub helikopter). Określeniu odległości towarzyszy pomiar nachylenia platformy z głowicą skanującą (INS) oraz współpraca z systemem GPS. Integracja tych systemów pomiarowych pozwala określić położenie punktu terenowego w dowolnym układzie współrzędnych. W efekcie pomiaru zostaje wygenerowana chmura punktów o znanych współrzędnych płaskich oraz wysokości. W trakcie nalotu można jednocześnie wykonać zdjęcia lotnicze i wykorzystać je do sporządzenia tradycyjnej ortofotomapy. W 2004 r. Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa zleciło wykonanie skanowania laserowego dla otoczenia Ronda Grunwaldzkiego i Wawelu (rys. 1). Śmigłowiec z zainstalowanym skanerem TopEye Mk II zeskanował obszar o powierzchni ponad 2 km<sup>2</sup>. Pomiar odbywał się z prędkością około 45 km/h, a średnia wysokość nalotu wynosiła 300 m nad powierzchnią terenu. Zarejestrowano 3,7 miliona punktów, co dało średnią gęstość na poziomie 1,5 pkt/m<sup>2</sup>. Wystarczyło to do opracowania dokładnego modelu terenu w postaci TIN oraz stworzenia wektorowych rysunków istniejących obiektów. Ciekawe efekty powstały po wygenerowaniu modelu TIN z całości danych (teren i wszystkie obiekty jego pokrycia). Uzyskano w ten sposób bardzo szybko realistyczny wektorowy model (choć zieleń wyglądała dość abstrakcyjnie lecz także dzięki temu była łatwo rozpoznawalna), charakteryzujący się pewną „chropowatością” wynikającą z istniejącej gęstości punktów.

## Lotnicze skanowanie laserowe Krakowa

Punkty uzyskane na drodze skanowania laserowego bardzo dobrze nadawały się do tworzenia numerycznego modelu zespołów urbanistycznych. Oczywistym stało się, że całe miasto wymaga pozyskania takich danych. Podjęto starania o wykonanie nalotu dla obszaru całego Krakowa. W 2006 r. śmigłowiec z zainstalowanym systemem FLI-MAP 400 dokonał skanowania laserowego z wysokości 350 m nad powierzchnią terenu. Uzyskano chmurę punktów o gęstości co najmniej 12 pkt/m<sup>2</sup> dla obszaru całego Krakowa. Na obszarze opracowania występują rejony o gęstości od 16 pkt/m<sup>2</sup> do 20 pkt/m<sup>2</sup>. Tak duża gęstość spowodowała bardzo dobre reprezentowanie obiektów istniejących. Praktycznie same punkty tworzą już poglądowy model zespołów urbanistycznych. Możliwe jest definiowanie grubości wyświetlania punktów, co w rezultacie daje wrażenie oglądania ciągłej powierzchni. Każdy punkt ma przypisaną informację o intensywności odbicia oraz o naturalnym kolorze obiektu, który reprezentuje. Dzięki temu bardzo szybko można wizualizować dowolny fragment miasta za pomocą jednej z trzech dostępnych metod (rys. 2).

Wykorzystanie informacji o intensywności odbicia impulsu laserowego daje w rezultacie obraz bardzo zbliżony do czarno-białej fotografii. Dzięki zarejestrowaniu składowych RGB i przypisaniu ich do każdego punktu możliwa jest prezentacja w barwach naturalnych. Dla widoków chmury punktów z góry powstaje w ten sposób tzw. prawdziwa ortofotomapa, gdyż w żadnym miejscu nie widać ścian budynków a jedynie rzuty ich dachów. Najbardziej klasyczny sposób prezentacji zespołów urbanistycznych polega na przypisaniu poszczególnym stopniom wysokościowym odpowiednich kolorów. Stosując standardową paletę barw od zieleni przez żółć do czerwieni uzyskuje się efekt, do którego są przyzwyczajeni odbiorcy zobrazowań hipsometrycznych. W zależności od potrzeby można użyć jedną z powyższych metod dodatkowo modyfikując „grubość” punktów. Pozwala to uzyskać obraz z widocznymi pojedynczymi punktami (przy wyborze najmniejszej grubości) lub obraz stwarzający wrażenie ciągłego zdjęcia (przy grubościach większych). Punkty bardzo dobrze reprezentują także obiekty ażurowe (np. dźwigi budowlane, słupy wysokiego napięcia). Również linie napowietrzne zostały utrwalone przez zbiór punktów wyznaczających ich położenie.

### Doświadczenia Biura Planowania Przestrzennego UMK z wykorzystaniem danych ze skanowania laserowego

Na podstawie pozyskanych punktów można wykonać tradycyjny model w postaci nieregularnej siatki trójkątów. Ich duża gęstość pozwala na generowanie modeli TIN o bardzo realistycznym wyglądzie. Na rysunku 3 pokazano fragment takiego modelu dla mieszkaniowego zespołu urbanistycznego w Cichym Kąciuku. Bez problemu można obserwować nawet bardzo małe detale (np. kominy na dachu, ogrodzenia, latarnie). Wyróżnialne są także samochody zeskanowane na ulicach.

Przez odfiltrowanie z chmury punktów tylko tych, które reprezentują powierzchnię terenu można stworzyć typowy numeryczny model powierzchni terenu. Na jego podstawie stosunkowo szybko uzyskuje się warstwicę lub opracowania pochodne (mapy spadków, ekspozycji itp.). Dysponując takimi danymi można tworzyć modele zespołów urbanistycz-

nych, gdzie powierzchnia terenu będzie przedstawiona modelem w postaci nieregularnej siatki trójkątów, zabudowa jako wektorowe obiekty, zieleń będzie reprezentowana przez chmurę punktów, a dodatkowo planowane kubatury będą pokazane za pomocą wektorowych brył. Choć same punkty nie stanowią modelu to przedstawienie zieleni za ich pomocą w wielu przypadkach jest bardziej korzystne niż ich zamiana na rysunek wektorowych brył.

Doświadczenie uzyskane przez Biuro Planowania Przestrzennego UMK po paru miesiącach pracy z efektami skanowania laserowego, pozwala pozytywnie ocenić wartość chmury punktów jako materiału do tworzenia modeli zespołów urbanistycznych. Nasuwa się pytanie – czy większa gęstość punktów byłaby wskazana do tworzenia jeszcze bardziej doskonałych modeli. Technicznie istnieje możliwość pozyskania chmury punktów o gęstości przekraczającej 100 pkt/m<sup>2</sup>. Jednak w przypadku miasta o wielkości Krakowa tak duża ilość danych stanowiłaby problem związany zarówno z przechowywaniem ogromnych zbiorów jak i ich przetwarzaniem. Do przechowywania efektów skanowania laserowego wykonanego w 2006 r. niezbędne było zakupienie macierzy dyskowej. Aby móc je wykorzystać do tworzenia modeli i analiz, konieczne było posiadanie odpowiedniego oprogramowania. Większość aplikacji umożliwiających przetwarzanie chmury punktów wczytuje je do pamięci operacyjnej (np. TerraScan – Terrasolid, Flip7 – Fli-Map). 1 GB RAM wystarcza do wczytania ok. 20 mln punktów. Jest to wielkość pozwalająca na płynne i szybkie analizy mniejszych zespołów urbanistycznych, takich jak np. Cichy Kącik – około 1,5 mln punktów. W przypadku zespołów zajmujących większą powierzchnię (np. Stare Miasto – około 26 mln punktów) praca z wykorzystaniem tego typu aplikacji wymaga zwiększenia pamięci RAM. Staje się ona jednak wolniejsza, a po przekroczeniu limitu wolnej pamięci jest praktycznie niemożliwa. Pojawia się już oprogramowanie pracujące na danych pobieranych w sposób ciągły z zasobów dyskowych bez wczytywania do pamięci operacyjnej (np. ScanView - Dephos). Obecnie wydaje się to właściwą drogą, umożliwiającą wykonywanie analiz dla dużych fragmentów miasta.

## Podsumowanie

Dane pozyskane za pomocą lotniczego skanowania laserowego umożliwiają nie tylko wizualizację zespołów urbanistycznych jak i pojedynczych obiektów, lecz także tworzenie ich wektorowych ciągłych modeli. Są bardzo istotnym materiałem źródłowym możliwym do wykorzystania w planowaniu przestrzennym i wielu innych dziedzinach. Pozwalają na ocenę widoczności z dowolnych miejsc z uwzględnieniem obiektów planowanych. Szybko tworzą szczegółowe przekroje terenu z doskonałym obrazem istniejącej zieleni. Są źródłem precyzyjnej informacji wysokościowej o istniejących obiektach przestrzennych, co stanowi obiektywną podstawę do podejmowania decyzji. Uzyskane rezultaty potwierdzają przydatność lotniczego skanowania laserowego jako techniki pozyskiwania danych do tworzenia modeli o dużej dokładności i szczegółowości.

### **Summary**

*The paper presents experience of the Spatial Planning Office at the Cracow City Hall connected with acquisition of data for elaboration of spatial development plans in the city. In drawing up these plans various data are used and information about height of existing objects is of crucial importance.*

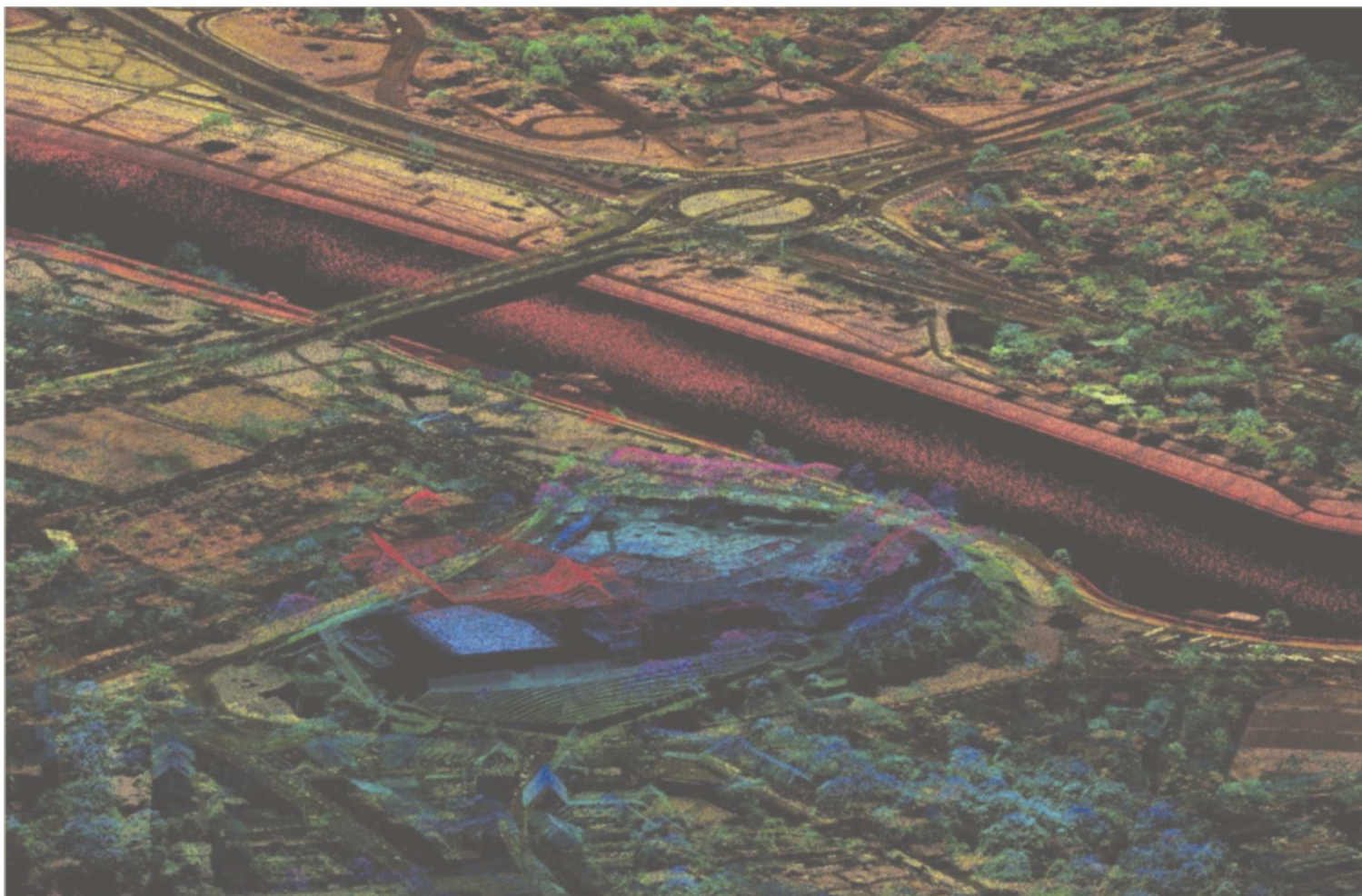
*Over the course of the years more and more advanced tools for building digital models were used for visualization of urban complexes for planning purposes. These were in turn models based on:*

- 1) land and buildings register – these models could be only treated as an approximation, because land and buildings registration does not provide information about their height;*
- 2) stereoscopic elaboration of aerial photos - featured with high accuracy, but the obstacle was the need to have specialized photogrammetric equipment and software and trained personnel with inborn ability to view stereoscopic images and relatively high labour-intensity;*
- 3) aerial laser scanning (defined as LIDAR or ALS).*

*In 2004, first laser scanning was made for Grunwaldzkie Roundabout and Wawel Castle by means of a TopEye MkII scanner mounted on a helicopter (an area of over 2 sq km, average height of the flight 300 meters above the terrain at a speed of 45 km per hour). 3.7 million points were registered which gave an average density of 1.5 point per sq m. These data were well suited for building a digital model of urban complexes.*

*In 2006, laser scanning was performed for the whole area of Cracow by means of FLI-MAP 400 system installed on a helicopter (the height of flight 350 meters). A cloud of points with average density of at least 12 points per sq m was obtained. Such a density enables visualization not only of urban complexes but of individual objects, including determination of their height. The results obtained confirm usefulness of aerial laser scanning as the technique of data acquisition for creation of digital models of urban complexes with high accuracy and in great detail.*

dr inż. Ireneusz Jędrychowski  
ireneusz.jedrychowski@um.krakow.pl



**Rys. 1.** Fragment chmury punktów z otoczenia Wawelu pozyskanej w 2004 r.



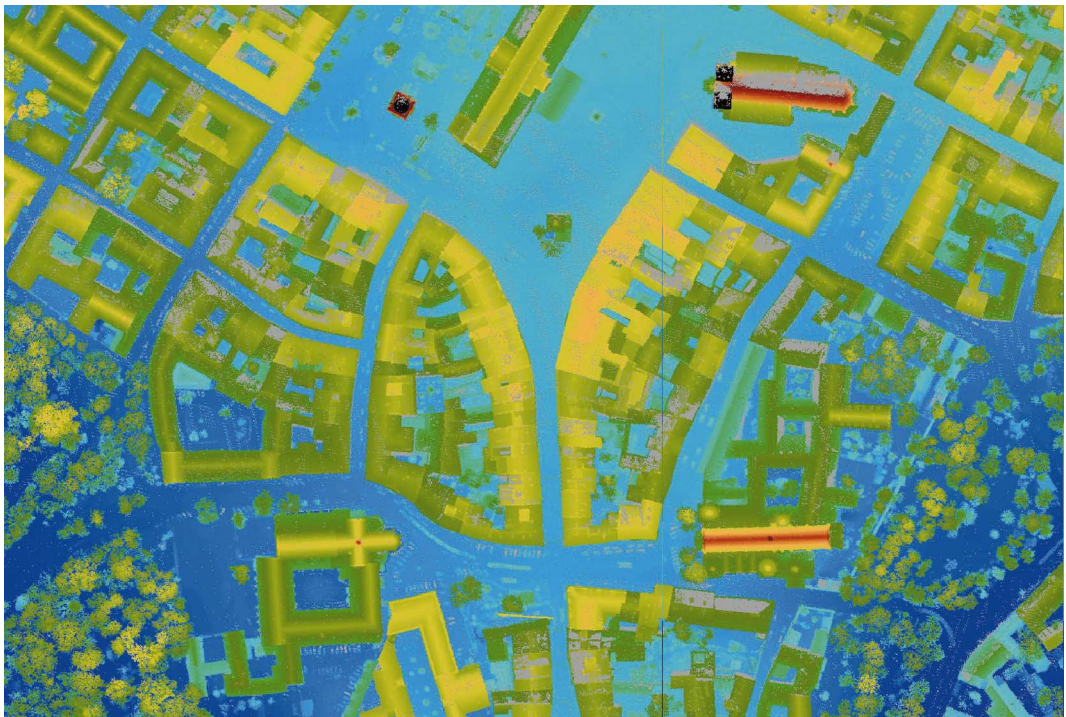
**a**

**Rys. 2.** Fragment zespołu urbanistycznego Starego Miasta przedstawiony z wykorzystaniem: intensywności odbicia (a), barw naturalnych (b), barw hipsometrycznych (c).



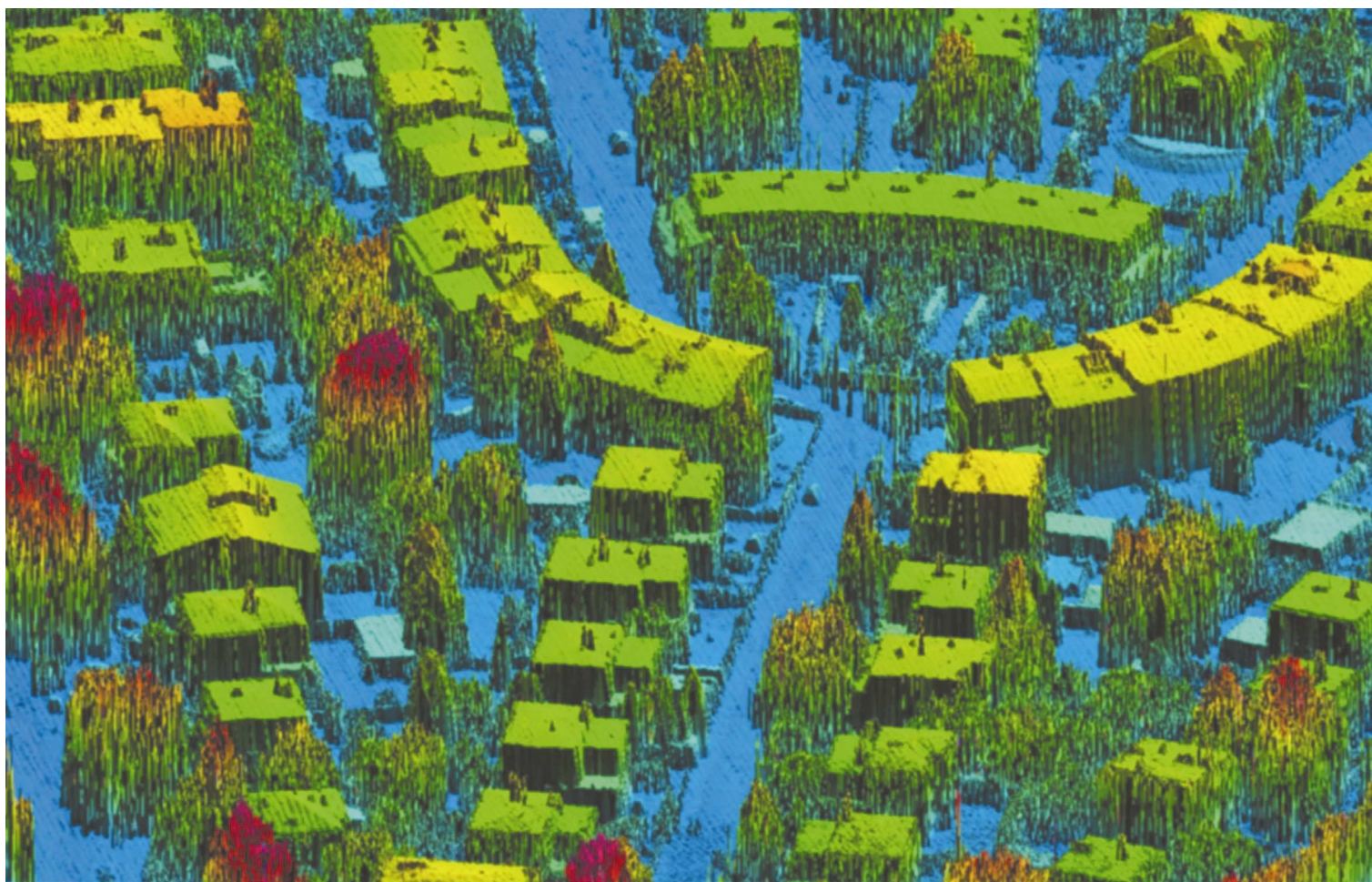


**b**



**c**





Rys. 3. Fragment numerycznego modelu mieszkaniowego zespołu urbanistycznego przedstawionego za pomocą nieregularnej siatki trójkątów