Miasto 3D, czyli nowe spojrzenie na geodane miejskie

Dane pozyskane z użyciem technik fotogrametrycznych są powszechnie wykorzystywane w postaci ortofotomap cyfrowych w wielu wydziałach i departamentach urzędów miejskich. Służą najczęściej jako podstawowy, najbardziej aktualny materiał do sporządzania planów zagospodarowania przestrzennego, pozwalają na analizy przestrzenne oraz utworzenie trójwymiarowych modeli przestrzeni miejskiej. Niestety, pozyskanie obiektów metodą fotogrametryczną jest bardzo pracochłonne i wymaga specjalistycznej wiedzy. Nie bez znaczenia są wysokie koszty fotogrametrycznej stacji cyfrowej i specjalistycznego oprogramowania. Poszukiwanie technologii, które można w znaczny sposób automatyzować, doprowadziło do rozwoju techniki skaningu laserowego, która pozwala szybko dostarczyć dużą liczbę danych pozwalających na odwzorowanie obiektów miasta.

LiDAR w służbie miast

Skaning laserowy (LiDAR, ang. *Light Detection And Ranging*) jest aktywnym systemem teledetekcyjnym, niezależnym od pory dnia i w dużej mierze od warunków atmosferycznych. W wyniku skanowania laserowego otrzymujemy chmurę punktów ze współrzędnymi XYZ i innymi atrybutami, np. intensywności.

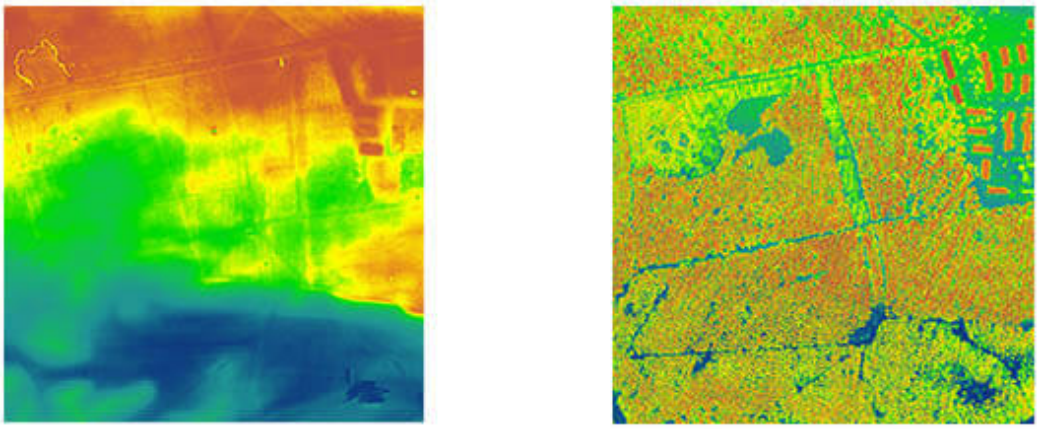
Ze względu na lokalizację skanera w przestrzeni i sposób realizacji pomiarów wyróżnić można skaning laserowy:

– naziemny (TLS, ang. *Terrestrial Laser Scanning*), wykonywany w trybie statycznym z jednego lub kilku stanowisk, stosowany w precyzyjnych pomiarach obiektów przemysłowych, architektonicznych i leśnictwie,

– mobilny (MLS, ang. *Mobile Laser Scanning*), wykonywany za

pomocą skanera zintegrowanego z kamerami cyfrowymi umieszczonymi na samochodzie, wagonie kolejowym lub innym pojeździe; projekty związane z MLS najczęściej dotyczą inwentaryzacji infrastruktury drogowej, kolejowej, podziemnej (np. garaże, tunele),

– lotniczy (ALS, ang. *Airborne Laser Scanning*), wykonywany z pokładu samolotu lub śmigłowca, a ostatnio nawet z pojazdów bezzałogowych; ALS najczęściej stosowany jest w precyzyjnym kartowaniu, np. obiektów liniowych (kolej, linie energetyczne), modelowaniu 3D rozległych obszarów oraz generowaniu Numerycznych Modeli Terenu (NMT), Numerycznych Modeli Pokrycia Terenu (NMPT) i innych; dane pochodzące z lotniczego skanowania laserowego można wizualizować i edytować w środowisku GIS, do czego służy np. oprogramowanie LP360 dla ArcGIS,



Rys. 1. NMT i NMPT dla tego samego obszaru wygenerowany automatycznie w oprogramowaniu LP360 na podstawie danych ALS z okolic Torunia.

– satelitarny (SLS, *Satellite Laser Scanning*), wykonywany z systemów ulokowanych na orbitach okołoziemskich; służy głównie do monitoringu pokrywy lodowej oraz koncentracji aerozoli w atmosferze oraz zmiany dynamiki urbanizacji w aglomeracjach miejskich.

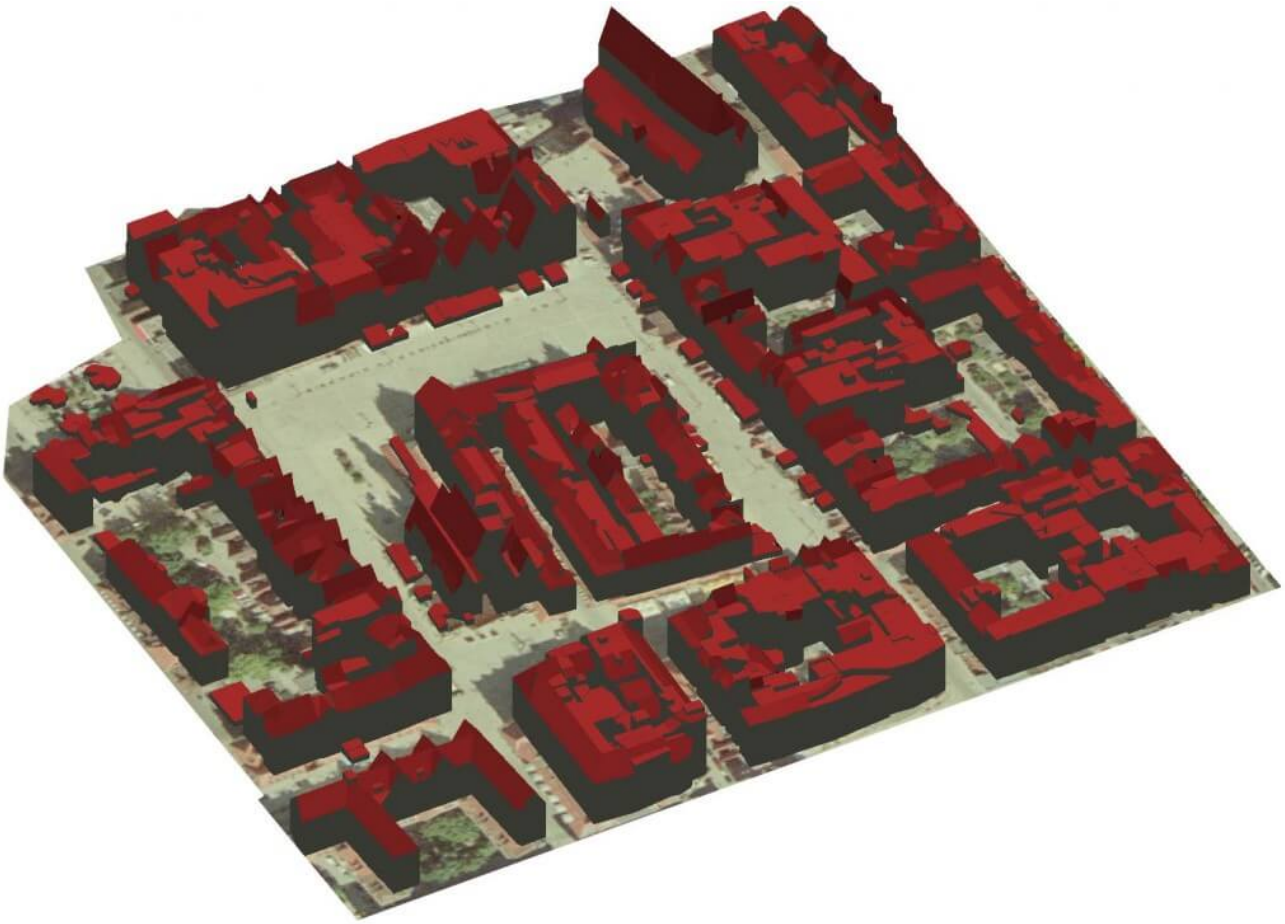
Skanowanie laserowe jest nowym źródłem danych dla miast, jednak wysokie koszty pozyskania danych powodują, że dla większości miast technologia ta pozostaje niedostępna. Nieliczne polskie miasta, takie jak Kraków czy Bytom, wygospodarowały środki na jego wykonanie. Kraków, pragnąc przyspieszyć realizację miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, na podstawie chmury punktów ALS pozyskał informacje służące określaniu wysokości zabudowy oraz miejsc występowania zieleni miejskiej. Z kolei Bytom wykorzystał dane LiDAR do przeprowadzenia analiz przestrzennych w celu określania zagrożeń powodziowych. Obecnie podobny cel przyświeca konsorcjum składającemu się z pięciu instytucji rządowych (IMiGW, KZGW, GUGiK, IŁ PIB, RCB), które od 30 lipca 2010 roku realizuje projekt o nazwie „Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami" (ISOK). Celem projektu jest wykonanie map zagrożenia i ryzyka powodziowego dla 191 tys. km2 obszaru Polski (ok. 60 proc.), w tym dla aż 203 miast, na podstawie lotniczego skanowania laserowego. Dane pochodzące ze skaningu laserowego oraz zdjęcia i ortofotomapy pozyskane w ramach projektu będą udostępniane przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Dane ALS zostaną udostępnione w dwóch standardach: I i II, w których gęstość chmury punktów wynosi odpowiednio 4 pkt/m2 oraz 12 pkt/m2. Chmura punktów jest dodatkowo sklasyfikowana i ma nadane wartości RGB. Dzięki projektowi ISOK miasta uzyskają nieograniczony dostęp do danych pochodzących ze skanowania laserowego i będą mogły niskim kosztem wykorzystać tę innowacyjną technologię nie tylko do określania zagrożenia powodziowego, lecz także do innych celów.

Modelowanie miast 3D

Na podstawie lotniczego skaningu laserowego, przy pomocy automatycznych narzędzi (np. programu TerraScan), można generować modele budynków 3D na trzech poziomach

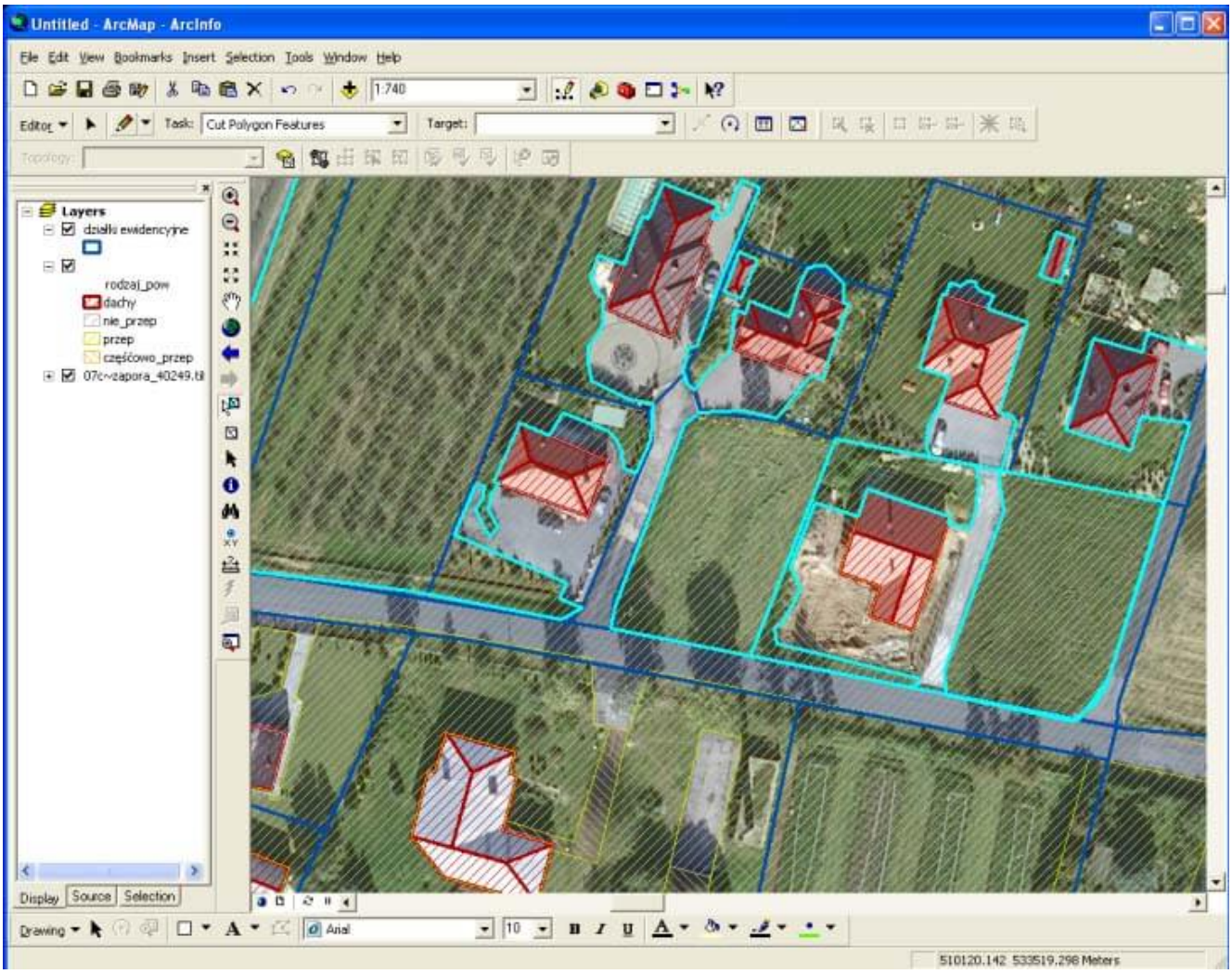
szczegółowości (LoD, ang. *Level of Details*). Model poziomu zero (LoD0) to NMPT z opcjonalnie nałożoną teksturą zobrazowania lotniczego, idealnie nadający się do reprezentacji krajobrazu. Modelowanie budynków poziomu LoD1 utożsamiane jest z prostym blokowym modelem budynków o płaskich dachach. Budynki na poziomie LoD2 wykonywane są najczęściej dla obszarów zwartej zabudowy miasta i odznaczają się możliwością rozróżniania orientacji i kształtu dachu.

Modele budynków 3D służą nie tylko efektownym wizualizacjom tkanki miejskiej czy wirtualnym spacerom po mieście, lecz także mogą znacznie poprawić jakość sporządzanych map akustycznych poprzez wykorzystanie bardzo dokładnych modeli budynków oraz NMT i NMPT w aproksymowaniu rozchodzenia się fali dźwiękowej od miejsca emisji hałasu.



Rys. 2. Budynki 3D na obszarze Starego Miasta we Wrocławiu wygenerowane automatycznie na podstawie danych pochodzących z projektu ISOK w oprogramowaniu TerraScan.

Budynki 3D można również wykorzystać dla potrzeb obliczania opłaty za wodę deszczową odprowadzaną do kanalizacji miejskiej. W tym celu na podstawie danych ALS generuje się krawędzie płaszczyzn dachów, a następnie określa ich spadki i powierzchnię. W kolejnych krokach pozyskuje się informacje o poziomie przepuszczalności elementów zagospodarowania. Wynik analiz stanowi powierzchnia, z której odprowadzana jest woda do kanalizacji miejskiej. Stawkę podatku nalicza się ze względu na powierzchnię danego elementu i jego przepuszczalność.

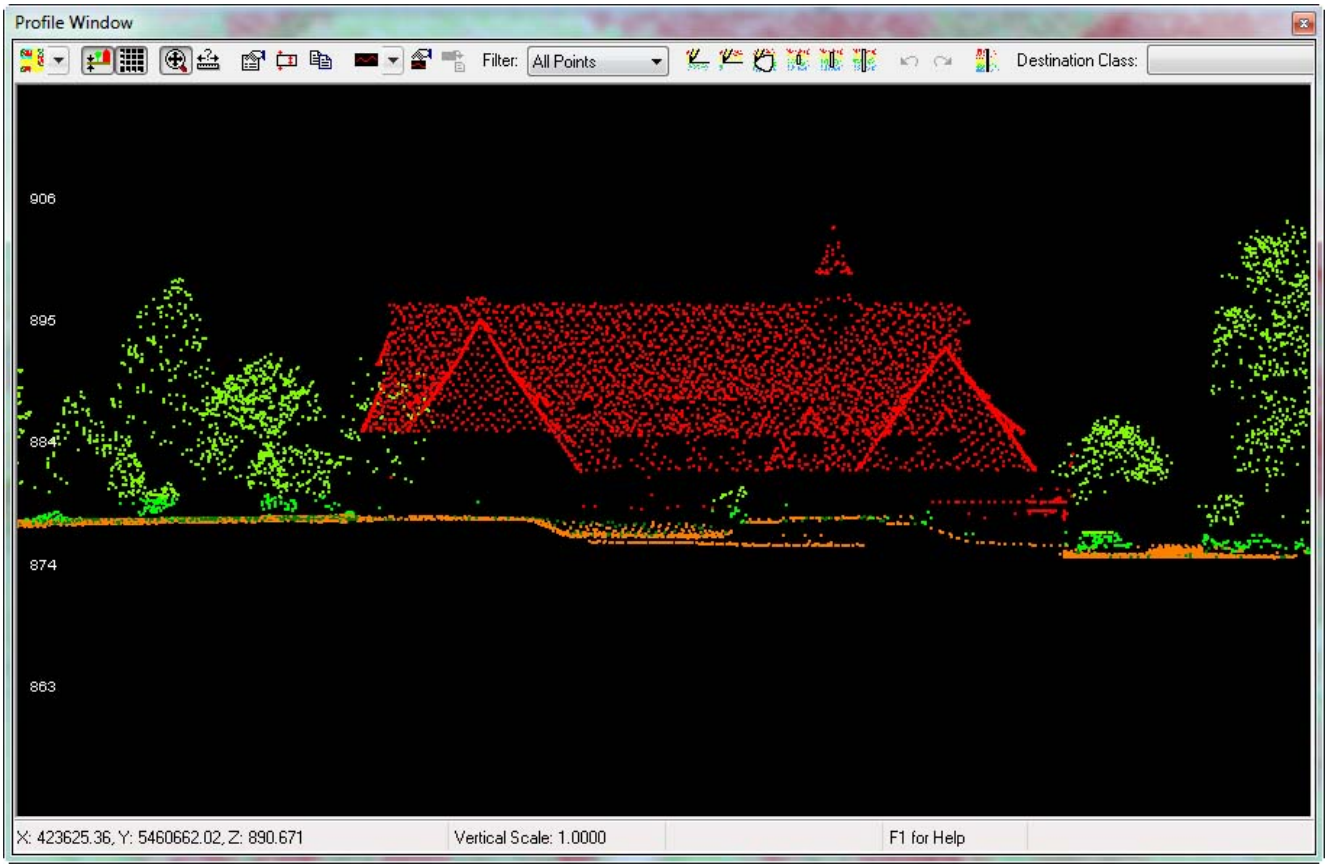


Rys. 3. Płaszczyzny dachów wygenerowane przy pomocy lotniczego skanowania laserowego oraz obszary o różnych poziomach przepuszczalności.

Planowanie przestrzenne

Dane pochodzące z lotniczego skanowania laserowego w wyniku analizy obecnych rozmiarów budynków mogą istotnie wspierać proces planowania przestrzennego, np. zachowując ład przestrzenny dominant krajobrazowych. Dane te pozwalają również na weryfikację parametrów określonych w projekcie budowlanym (rozmiar, kubaturę obiektu). Ponadto poprzez identyfikację geometrii skanowanych obiektów z użyciem automatycznych filtrów (dostępnych np. w oprogramowaniu LP360) można dokonać klasyfikacji chmury punktów i wyodrębnić poszczególne klasy pokrycia terenu (grunt, roślinność niska, średnia, wysoka, domy itp.). Dodatkowo wykorzystanie intensywności odbicia promienia lasera od obiektu skanowanego pozwala na wyróżnienie kolejnych klas pokrycia terenu, np. z klasy gruntu, drogi lub wody. Wykorzystując informacje o liczbie cech sygnału, można z jeszcze większą precyzją wykryć roślinność średnią i wysoką, jak również linie energetyczne czy telekomunikacyjne. Z tego powodu dane ALS umożliwiają generowanie plików rastrowych i wektorowych (obrysy budynków, linii energetycznych, roślinności, wód itp.), a w konsekwencji są bardzo pomocne w określeniu aktualnego przeznaczenia oraz zagospodarowania terenu.

Przy pomocy danych pochodzących ze skanowania laserowego można określić stan środowiska naturalnego oraz zależności między obszarami zabudowanymi a obszarami zielonymi. Dotychczas takie zależności ustalano z użyciem udziału procentowego powierzchni biologicznie czynnej. Wykorzystując skaning, można iść krok dalej i dodać do tego aspekt objętości, określając, jaką objętość zajmuje biomasa w przestrzeni miejskiej. W Polsce realizowane są już badania nad współczynnikami wypełnienia miasta przez zieleń wysoką w analizach przestrzennych voxeli (odpowiednik trójwymiarowego piksela).



Rys. 4. Chmura punktów automatycznie sklasyfikowana w oprogramowaniu LP360 z obszaru Zakopanego.

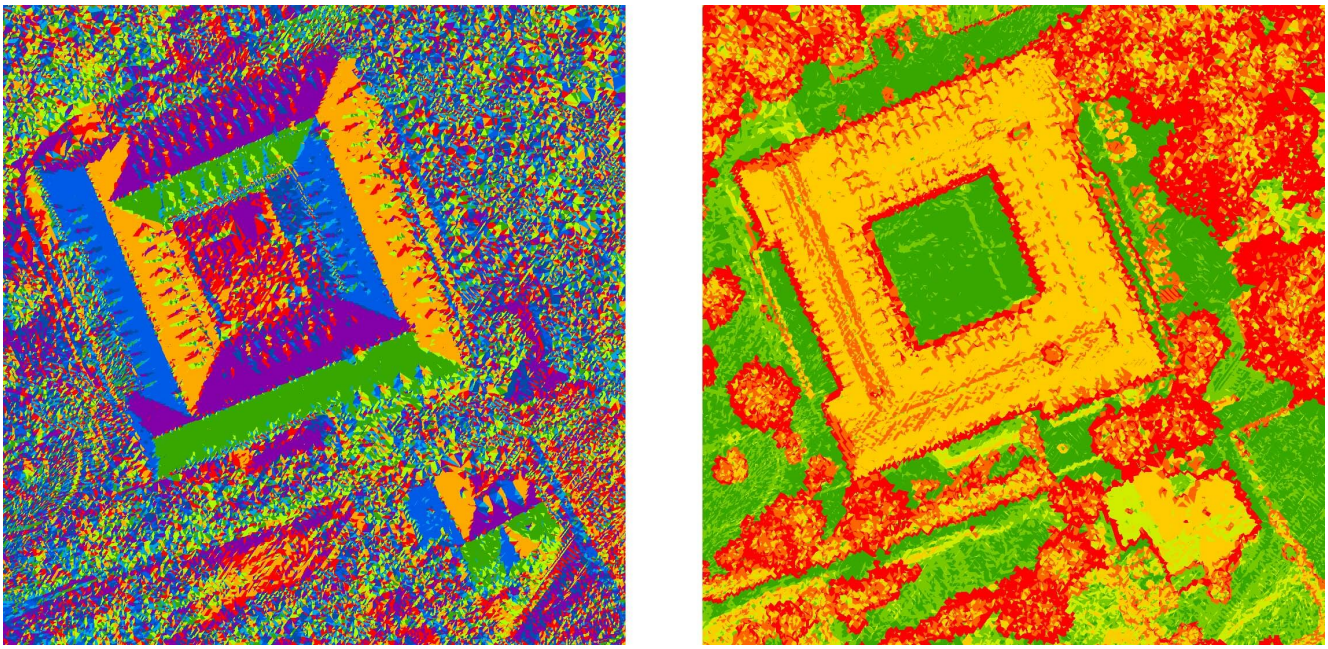
Należy również pamiętać, że dane ALS dostarczają precyzyjnej informacji o rzeźbie terenu, dzięki czemu można identyfikować obszary ryzyka, dla których urzędnicy nie powinni wydawać zgody na użytkowanie gruntów pod zabudowę (np. zagrożone osuwiskami lub powodzią).

Optymalizacja lokalizacji

Dane pochodzące ze skaningu laserowego pomagają w procesie ustalania lokalizacji inwestycji liniowych. W analizie wyboru optymalnego przebiegu trasy mogą być brane pod uwagę wymogi związane z projektowanym torowiskiem tramwajowym, np. maksymalne dopuszczalne pochylenie podłużne, czy też uwarunkowania związane z sąsiedztwem i odległością od terenów leśnych lub obszarów zabudowanych. Tego typu dane można uzyskać z chmury punktów, w pierwszym przypadku generując NMT i wykonując analizę nachylenia, w drugim –wykonując obrysy

roślinności średniej i wysokiej oraz budynków. Otrzymane warstwy wektorowe poddaje się rasteryzacji, a następnie nadaje się im wagi. Z użyciem algebry map sumuje się je, uzyskując powierzchnie o najmniejszych dla środowiska geograficznego kosztach przeprowadzenia ciągu komunikacyjnego.

Dane pochodzące ze skaningu laserowego nie tylko mogą być wykorzystywane do planowania położenia dróg, lecz także do określenia optymalnej lokalizacji kolektorów słonecznych na dachach lub ścianach budynków miejskich. Za pomocą wysokorozdzielczych NMT, NMPT i produktów pochodnych (map nachylenia i ekspozycji) wygenerowanych na podstawie danych LiDAR oraz danych pochodzących z modelowania promieniowania słonecznego można zwiększyć produkcję „zielonej” energii w mieście. Ogólnodostępna mapa nasłonecznienia pozwoliłaby na kalkulację ekonomiczną inwestycji związanej z montażem kolektora słonecznego na dachach nieruchomości.



Rys. 5. Mapa ekspozycji i spadków dachów wygenerowana w oprogramowaniu LP360 w celu określenia optymalnej lokalizacji kolektorów słonecznych.

Dane ALS są również użyteczne w lokalizacji farm wiatrowych i nadajników GSM. Przy pomocy danych pochodzących z lotniczego skanowania laserowego możemy określić obszary spełniające

wytyczne, które powinny być brane pod uwagę przy lokalizacji turbin wiatrowych (np. odległość od obszarów zabudowanych). Podczas określania optymalnej lokalizacji nadajnika GSM wykorzystujemy NMPT i NMT, które pozwalają na określenie właściwego miejsca montażu nadajnika lub budowy masztu, tak aby umożliwiał odbiór sygnału w jak największym promieniu.

LiDAR –gdzie go wykorzystać?

Technologia lotniczego skaningu laserowego ma bardzo szerokie zastosowanie, które pozwala na wykorzystanie jej w różnych wydziałach magistratu miejskiego, począwszy od jednostek zajmujących się środowiskiem poprzez wydziały ds. planowania przestrzennego, a skończywszy na biurach promocji miasta. W urzędach, w których dotychczas korzystano z opracowań fotogrametrycznych, można stosować komplementarnie dane pochodzące z lotniczego skanowania laserowego.
Dane ALS zawierają informacje o położeniu i rodzaju obiektów oraz informację spektralną, dzięki czemu mogą być stosowane w klasyfikowaniu pokrycia terenu. Ponadto z chmury punktów łatwo wyodrębnić maszty, słupy, linie energetyczne i inne obiekty inżynieryjne.
Należy również pamiętać, że metoda skaningu nie przekreśla innych technik pozyskiwania danych, ale jest dla nich dopełnieniem. Już teraz z powodzeniem wykorzystywane są rozwiązania łączące metody skaningu oraz fotogrametrii i w nich należy dostrzegać potencjał.