

Modyfikacja i integracja danych przestrzennych pozyskanych z różnych źródeł w celu wykonywania analiz przestrzennych oraz opracowywania modeli 3D budynków



dr inż.
ADAM DOSKOCZ
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie
Wydział Geoinżynierii
ORCID: 0000-0003-0545-2391



dr hab. inż.
ELŻBIETA LEWANDOWICZ
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
w Olsztynie
Wydział Geoinżynierii
ORCID: 0000-0001-8847-2835

Od 2019 roku Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) nieodpłatnie udostępnia online zbiory uzyskane z lotniczego skaningu laserowego i ich produkty pochodne. Dane te umożliwiły przekształcenie (transformację) istniejącego zasobu map geodezyjnych (zbioru danych zgromadzonych w przestrzeni 2D) do obiektów przestrzennych oraz ich wizualizacji 3D. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wykonanej transformacji danych i ocena jakości zrealizowanego procesu.

Wprowadzenie

W ostatnich latach Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) w ramach Programu Polska Cyfrowa 2014–2020 zrealizował Projekt Polska 3D+, którego celem jest wsparcie rozwoju innowacyjnych zastosowań trójwymiarowej informacji przestrzennej poprzez popularyzację zastosowań przestrzennych danych 3D we wszystkich sektorach gospodarki oraz uruchomienie Geoportalu 3D. Tym samym ma to być zapewnienie aktualnych, jednolitych i kompletnych dla obszaru całego kraju przestrzennych danych 3D, w szczególności przestrzennych modeli 3D budynków, jak również danych pomiarowych, numerycznego modelu terenu (NMT) i numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT) opracowanych w technologii lotniczego skanowania laserowego [1]. Od 2019 roku GUGiK udostępnia nieodpłatnie zbiory uzyskane w ramach Projektu ISOK [2] z lotniczego skaningu laserowego (zbiory danych w formacie LAS, ang. *Laser Airborne Scanning*) i ich produkty pochodne w formie: zgromadzonej chmury punktów, opracowanego numerycznego modelu terenu oraz wygenerowanych modeli budynków 3D na poziomie LoD2. Projekt ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami) zrealizowano w ramach 7. osi priorytetowej „Społeczeństwo informacyjne – budowa elektronicznej administracji” Pro-

gramu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013. W celu wykorzystania zbiorów danych udostępnionych przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii [3] skorzystano z usługi: Wyszukiwanie danych wysokościowych oraz Pobierz dane z usługi WCS. Zbiory pobrane z Portalu PZGiK, umożliwiającego zakup danych online lub pobranie danych bezpłatnych, są szczegółowo opisane w serwisie internetowym prezentującym zbiory PZGiK (Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego) [2].

Udostępniane dane w postaci chmury punktów pozyskane z lotniczego skaningu laserowego (ang. *ALS – Airborne Laser Scanning*) zawierają m.in. informację o intensywności odbicia promienia laserowego od powierzchni terenu. Dzięki temu możliwa jest identyfikacja obiektów i określenie rodzaju pokrycia terenu. Dodatkowo dane ALS mogą zostać poddane klasyfikacji zapewniającej jednoznaczne wyróżnienie poszczególnych klas obiektów, a poprzez to możliwa jest wiarygodna ich interpretacja oraz zastosowanie w zakresie opracowywania produktów pochodnych – takich jak Model Numerycznego Modelu Terenu (NMT). Dane ALS podzielono na następujące klasy (zgodne ze specyfikacją formatu LAS określoną przez ASPRS, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing): grunt, niska wegetacja, średnia wegetacja, wysoka wegetacja,

budynki i obiekty inżynierskie, punkty reprezentujące wodę, punkty niesklasyfikowane oraz szumy. W zbiorach danych ALS udostępnionych przez GUGiK przyjęto dwa standardy różniące się gęstością chmury punktów ALS: 1. standard o gęstości 4 punkty/m² (oraz 6 pkt/m² dla obszarów priorytetowych) i 2. standard o gęstości 12 punktów/m² – dla miast powyżej 50 tysięcy mieszkańców.

NMT wygenerowano z punktów pozyskanych w technologii skanowania laserowego (ang. *LiDAR – Light Detection And Ranging*). Modele NMT opracowano ze zbiorów punktów zaklasyfikowanych do punktów leżących na gruncie oraz reprezentujących obszary pod wodami. W obszarach pozbawionych danych zapisanych w chmurze punktów ALS (w przypadku elementów naturalnych i antropogenicznych wystających ponad powierzchnię terenu) przed wygenerowaniem wynikowego NMT zastosowano odpowiednią interpolację w celu uzupełnienia danych. Udostępniony numeryczny model terenu zapisano w dwóch formatach: ASCII (wykaz współrzędnych XYZ) i Esri GRID (format ArcInfo ASCII GRID).

Natomiast wygenerowane modele budynków 3D są opracowane na poziomie szczegółowości LoD2. W ich realizacji wykorzystano format CityGML, oparty na międzynarodowym formacie wymiany danych i kodowania GML (ang. *Geography Markup Language*). Format

Tab. 1. Proces modyfikacji i integracji danych z różnych źródeł

1.	2.	3.	
L.p.	Dane	Modyfikacja i integracji danych przestrzennych	
1.	Dane pomiarowe	Dane z bazy pomiarowej 2D.	Dane z bazy pomiarowej 3D.
2.	Dane połączone ze zbiorem NMT	Na podstawie bazy NMT należy punktem wierzchołkowym obiektów mapy 2D (opisanym współrzędnymi X i Y) przypisać trzecią współrzędną (Z) wyznaczoną na gruncie.	Obiekty są określone za pomocą punktów pomiarowych z trzema współrzędnymi (X, Y, Z).
3.	Dane atrybutowe obiektów	Wysokości obiektów można wyznaczyć na podstawie danych atrybutowych (wysokości budynków na podstawie liczby kondygnacji) lub z dokumentacji projektowej.	
4.	Zbiory LAS	Wysokości obiektów można wyznaczyć dzięki wizualizacji obiektów w zbiorach LAS (wysokości budynków, drzew, latarni itp.).	
5.	Model budynków 3D	Możliwość importu modeli budynków 3D z krajowego Geoportalu. Możliwość importu profesjonalnych modeli budynków 3D wykonanych w technologii BIM oraz modeli opracowanych w programach zewnętrznych, np. SketchUp.	
6.	Dokumentacja pomiarowa	Obiekty podziemne zapisane w bazie GESUT można przekonwertować do postaci 3D na podstawie szczegółowych danych zgromadzonych w dokumentacji pomiarowej.	
7.	Pomiary uzupełniające	Brakujące informacje o obiektach infrastruktury podziemnej można uzupełnić wynikami pomiarów wykonanych za pomocą elektronicznych technik pomiarowych – wykrywaczem przewodów lub georadarem, zgodnie ze współczesnymi badaniami [np. 23].	

CityGML opracowało oraz udostępniło Konsorcjum OGC (ang. *Open Geospatial Consortium*). Z jego specyfikacją można się zapoznać na stronie OGC [4]. W modelach budynków opracowanych w wersji LoD2 przedstawiono strukturę i typ dachu, ale nie uwzględniono dodatkowych zewnętrznych elementów budynku (takich jak np. balkony lub kominy).

Budynki oraz inne obiekty inżynierskie obok znaczenia, które jest im przypisane w klasie obiektów zapisanych w formacie LAS (danych zgromadzonych z lotniczego skaningu laserowego), pełnią zasadniczą funkcję społeczno-ekonomiczną i stanowią filar rozwoju gospodarczego. W związku z tym wraz z postępem technologii komputerowych poszukiwane są rozwiązania umożliwiające usprawnienie procesu zarządzania na poszczególnych etapach projektowania oraz budowy obiektów inżynierskich. W literaturze określane jest to zintegrowaniem prac architektów i konstruktorów oraz inżynierów budownictwa we wspólnej gałęzi AEC (ang. *Architecture Engineering Construction*). Jako pierwsze zastosowanie komputerowej obsługi procesu projektowania i budowy, pod nazwą Virtual Building, wskazuje się jej realizację w środowisku oprogramowania Graphisoft ArchiCAD w 1987 roku [5]. Początkowo opracowanie komputerowe funkcjonowało pod nazwą BPM (ang. *Building Product Models*) i pozwalało na przygotowanie w przestrzeni wirtualnej inwestycji budowlanej od opracowania jej koncepcji do oddania jej do użytku. Natomiast współcześnie jest to znana technologia BIM (ang. *Building Information Modeling*), która w uproszczeniu może być traktowana jako rozszerzenie wersji BPM. Technologia BIM zapewnia m.in. szerszy dostęp do informacji budowlanych oraz pozwala na określenie zachowania (przyszłego stanu) obiektu i kosztów jego eksploatacji [5].

Studia literatury związanej z danymi LiDAR wskazują na liczne ich wykorzystywanie

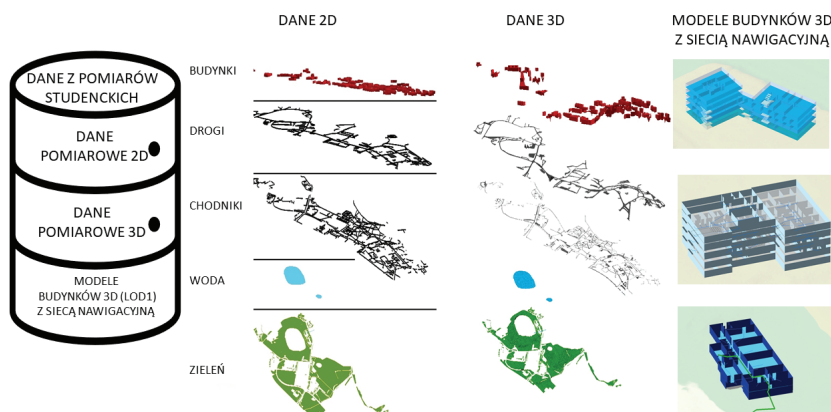
w opracowaniach specjalistycznych związanych z inwentaryzacją: linii energetycznych [6], stanowisk archeologicznych [7], budowli będących pod nadzorem konserwatorów zabytków, krajobrazu szczególnych miejsc [8] lub badań szczegółowych i działań operacyjnych [9]. Pokazują się także wyniki badań związane z aktualizacją tematycznych baz danych topograficznych na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego [10], a także [11] wskazujące na możliwości transformacji bazy zbiorów topograficznych do postaci 3D w celu stworzenia trójwymiarowych modeli miast. Pojawiają się także opracowania tworzące modele części miast 3D na podstawie danych z lotniczego skaningu lotniczego [12, 13].

Szczególnie w przypadku planowania i rozbudowy miast oraz obszarów zurbanizowanych niezwykle istotne jest zintegrowanie prac architektów i inżynierów budownictwa oraz przedsiębiorstw budowlanych w ramach obsługi danej inwestycji. Rozwój technologii BIM sprzyja osiągnięciu poziomu automatyzacji obsługi inwestycji [np. 14]. Zapewne nieodzowne w tym zakresie jest racjonalne wykorzystanie szerokiego zestawu danych, określonych np. w amerykańskim standardzie NBIMS (ang. *The National Building Information Modeling Standard*), są to dane [15]: projektowe, treści prawne, geoprzestrzenne, o środowisku, dotyczące właściciela, finansowe oraz specyfikacji technicznej i inne dane wspierające. W aspekcie wykorzystania danych geoprzestrzennych, w tym danych katastralnych i informacji o środowisku, duże znaczenie ma zasób geodezyjnych map wielkoskalowych. Zagadnienia wykorzystania mapy zasadniczej lub innych map wielkoskalowych do celów projektowych i obsługi inwestycji jest przedmiotem bieżących prac praktycznych oraz wcześniejszych prac i publikacji [16, 17], a także wyników badań zaprezentowanych w niniejszym opracowaniu.

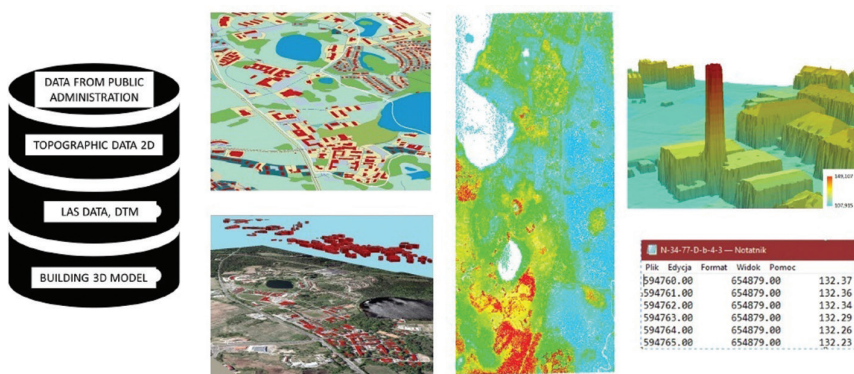
Na Wydziale Geoinżynierii Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie także są prowadzone badania związane z modernizacją zbiorów 2D oraz ich przekształceniem do 3D [18]. Podstawowy materiał badawczy stanowią własne dane pomiarowe zawierające obiekty o położeniu zapisanym za pomocą dwóch lub trzech współrzędnych [19]. Zgromadzono je w ramach corocznych pomiarów terenowych miasteczka akademickiego Kortowo wykonywanych przez studentów studiów inżynierskich na kierunku geodezja i kartografia [20, 21]. Na podstawie zgromadzonych danych pomiarowych opracowano dwie mapy wielkoskalowe w skali 1:500. Pierwsza powiązana z bazą punktów terenowych zawierających obiekty w standardzie geodezyjnej mapy zasadniczej (2D+1), a druga z obiektami zapisanymi za pomocą trzech współrzędnych w standardzie ArcMap firmy ESRI. Stało się to możliwe, gdyż firma Softline od 2015 roku umożliwia eksport obiektów w standardzie 3D z projektów wykonanych w oprogramowaniu geodezyjnym C-Geo. Własne bazy danych i zbiory udostępnione przez GUGiK na nowo zainspirowały autorów do kontynuacji badań w celu wypracowania metodyki modernizacji zgromadzonych baz danych na podstawie dostępnych zbiorów georeferencyjnych. Wyniki opracowań wykonanych w ramach pracowni dyplomowych [12, 21] oraz prowadzonych badań własnych autorzy zebrali i usystematyzowali w niniejszej pracy.

Głównym celem pracy było przekształcenie bazy danych geodezyjnej mapy wielkoskalowej (opracowanej w standardzie 2D) do danych przestrzennych w standardzie 3D na podstawie zbiorów referencyjnych udostępnianych przez GUGiK. Natomiast celem pobocznym niniejszej pracy jest sprawdzenie, czy dysponując geodezyjnymi danymi pomiarowymi (dotyczącymi położenia punktów terenowych wyznaczonych za pomocą trzech współrzędnych), można opracowywać bazy





Rys. 1. Zarys zrealizowanego procesu technologicznego: od pomiaru terenowego poprzez opracowanie mapy i jej modernizację do wykonania prezentacji danych 3D; źródło: opracowanie Lewandowicz



Rys. 2. Zbiory danych pozyskane z GUGiK poprzez serwis www.geoportal.gov.pl; źródło: opracowanie Lewandowicz

danych 3D zharmonizowane ze zbiorami 3D utworzonymi po transformacji zbiorów 2D do standardu 3D.

Dane i metodyka badań

Materiał badawczy stanowią zgromadzone na Wydziale Geoinżynierii UWM w Olsztynie własne dane pomiarowe zapisane za pomocą dwóch lub trzech współrzędnych. Podstawowy zasób danych pomiarowych zgromadzono w formie 2D całego kampusu Kortowo (położonego w południowej części miasta Olsztyn, w woj. warmińsko-mazurskim). Jest on opracowany w standardzie mapy geodezyjnej opartej na obiektach przechowywanych w bazach danych (opisanych np. w aktualnych rozporządzeniach z roku 2021). Główne bazy zawierają istniejące w terenie obiekty (stanowiące tzw. ewidencje położenia punktów oraz obiektów liniowych i obszarowych) z baz EGiB (ewidencja gruntów oraz budynków) i GESUT (ewidencja sieci uzbrojenia terenu) oraz BDOT500 (ewidencja pozostałej infrastruktury terenowej oraz obiektów przyrodniczych i topografii terenu). Natomiast drugi zasób danych z pomiarów wykonywanych, od kilku lat, w standardzie 3D obejmuje tylko część kampusu. Pozyskano także zbiory danych referencyjnych LAS, NMT i modele budynków 3D z krajowego Geoportalu [3]. Wszystkie

zgromadzone zbiory danych zapisano w standardzie tzw. Geobazy programu ArcGIS [22].

Wiadomo, że proces wizualizacji zbiorów 2D w standardzie 3D z wykorzystaniem danych referencyjnych NMT, w narzędziach GIS, często jest działaniem zautomatyzowanym – wykonywanym np. w aplikacji ArcScene. W jego realizacji przyjęto referencyjny poziom odniesienia obiektów z NMT. Symbolizacje obiektów w formie 3D uzyskano poprzez wyniesienie obiektów poligonowych, liniowych i symbolizację obiektów punktowych. W tym procesie zbiory LAS były konieczne do szczegółowych ustaleń wysokości oraz kształtu obiektów. Pobrane modele budynków 3D z krajowego Geoportalu znacznie poprawiły wizualizację w standardzie 3D. Proces wizualizacji nie był jednak tożsamy z budową zasobu baz danych zawierających obiekty opracowane w standardzie 3D. W przekształcaniach zbiorów danych wyłącznie do wizualizacji 3D obiekty nadal pozostały określone za pomocą tylko dwóch współrzędnych (X, Y). W tym przypadku, aby nadać obiektom trzecią współrzędną (Z), punktom identyfikującym obiekt przypisano wysokości opisujące rzędne terenu pozyskane z referencyjnego zbioru NMT, a następnie na nowo wygenerowano obiekt za pomocą zbioru punktów opi-

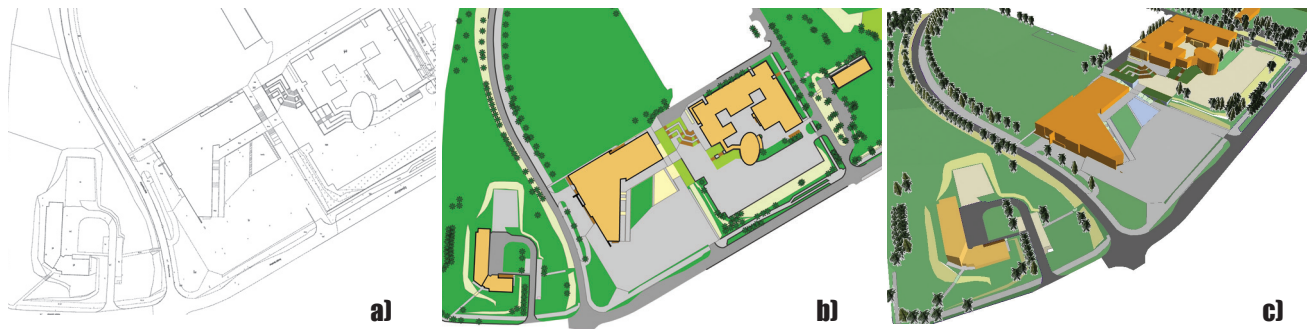
Na podstawie wykonanych opracowań ogólnie zweryfikowano jakość zgromadzonych zbiorów danych pomiarowych z obszaru części miasteczka akademickiego UWM w Olsztynie.

sanych już poprzez trzy współrzędne (X, Y, Z). Tym samym uzyskano zbiór obiektów położonych na gruncie (opartych na powierzchni terenu) i przedstawionych w przestrzeni 3D. W celu ustalenia wysokości obiektów ponad grunt wykorzystano także zbiory LAS i wpisano uzyskane wysokości w nowo utworzone rekordy w tabelach atrybutowych obiektów. Na kolejnym etapie nastąpiło przekształcenie uzyskanych obiektów w obiekty topograficzne opracowane w formie 3D. W ramach realizacji tej procedury wygenerowano budynki na przyjętym poziomie szczegółowości LoD1, określając wysokości budynków np. na podstawie liczby kondygnacji. Ponadto, wykorzystując modele budynków 3D z krajowego Geoportalu, uzyskano wizualizację obiektów na poziomie szczegółowości LoD2. Natomiast wizualizację innych obiektów przestrzennych, np. drzew i latarni, wykonano poprzez wykorzystanie określonych wysokości oraz standardowych bibliotek wraz z symbolizacją, które są dostępne w zastosowanym oprogramowaniu komputerowym.

W przypadku gdy zbiory danych pomiarowych 3D miały trzy współrzędne (X, Y, Z) wyznaczone na poziomie gruntu, ich wizualizacja w standardzie 3D nie wymagała dodatkowych zbiorów referencyjnych NMT. Jednakże do ich wizualizacji w formie obiektów 3D konieczne były dane o wysokościach m.in. budynków, latarni i innych konstrukcji inżynierskich oraz drzew i pozostałych elementów przyrodniczych. Wysokości obiektów uzyskano ze zbiorów LAS oraz uzupełniono danymi z dostępnej dokumentacji technicznej bądź z wyników pomiarów specjalistycznych (np. opracowań dendrologicznych).

Należy podkreślić, że pomiary geodezyjne wykonywane w technikach sytuacyjno-wysokościowych (z wynikami uzyskiwanymi w postaci danych 3D) eliminują potrzebę wykonywania procesu konwersji zbiorów danych 2D do standardu 3D.

Dałej przedstawiono metodykę oraz uzyskane wyniki integracji własnych danych pomiarowych ze zbiorami referencyjnymi w celu ich wizualizacji i umożliwienia wykonywania analiz w przestrzeni 3D. Zapropono-



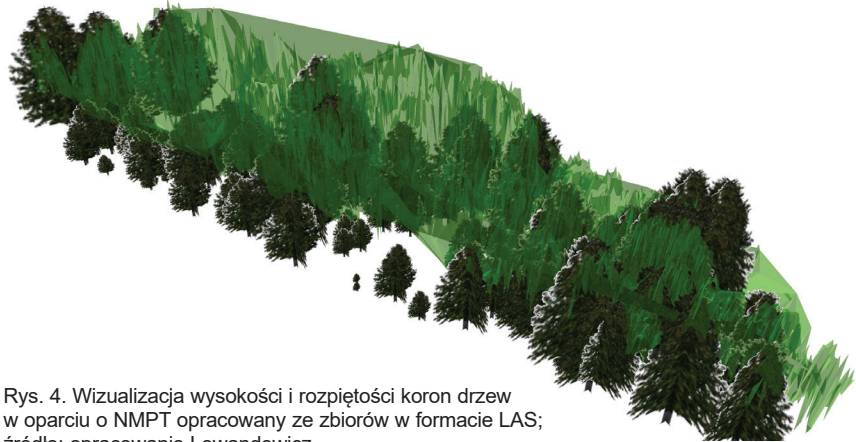
Rys. 3. Zmiany wizualizacji opracowania sytuacyjnego mapy wykonanej z danych pomierzonych na trzy współrzędne: a) obraz klasycznej mapy zasadniczej, b) wizualizacja obiektowa z wypełnionymi poligonami, c) wizualizacja 3D; źródło: opracowanie Lewandowicz

wano wykonanie opracowań w standardzie 3D według dwóch procesów (dwóch niezależnych rozwiązań) obejmujących konkretną metodykę (tab. 1).

Wyniki badań

Zintegrowanie zbiorów pomiarowych zapewniło modernizację opracowanej mapy geodezyjnej, co wiązało się z poprawą jej jakości i umożliwiło opracowanie prezentacji 3D fragmentu kampusu Kortowo w Olsztynie. Na rys. 1. przedstawiono zarys zrealizowanego procesu technologicznego.

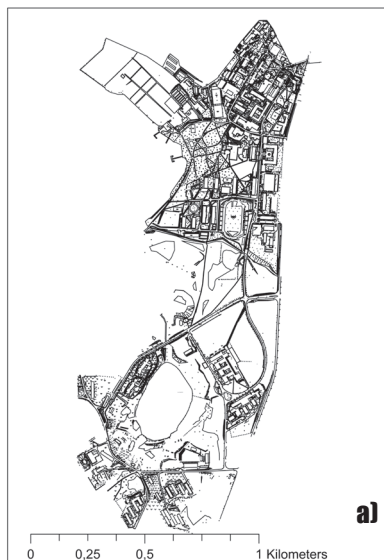
W ramach wykonania wizualizacji przestrzennej zgromadzonych danych pomiarowych z obszaru miasteczka akademickiego (zapisanych w modelu mapy opracowanej w skali 1:500) wykorzystano zbiory danych udostępnione w krajowym Geoportalu za pomocą usługi Wyszukiwanie danych wysokościowych oraz Pobierz dane z usługi WCS [3]. Pozyskano w ten sposób ogólnie dostępne zbiory danych w postaci: chmury punktów ze skaningu laserowego, opracowanego modelu NMT oraz modeli budynków 3D na poziomie LoD2. Na rys. 2. przedstawiono w ujęciu schematycznym pozyskane zbiory danych.



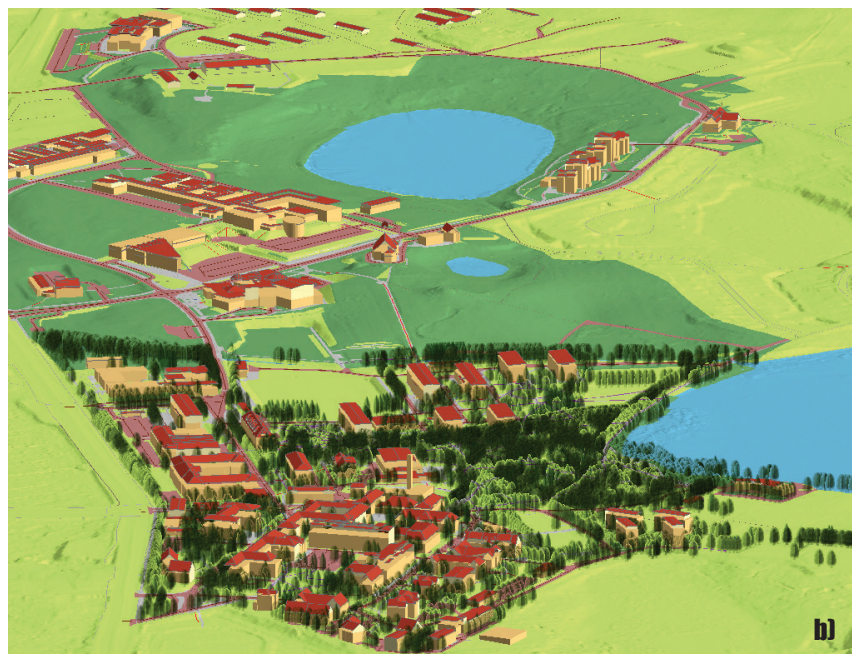
Rys. 4. Wizualizacja wysokości i rozpiętości koron drzew w oparciu o NMPT opracowany ze zbiorów w formacie LAS; źródło: opracowanie Lewandowicz

Obecnie konwencjonalna mapa geodezyjna jest sporządzana w postaci 2D, a informacja o wysokościach punktów terenowych stanowi jej wartość dodaną. Natomiast wśród zalet współczesnego zastosowania modeli danych i opracowań 3D, pochodzących z lotniczego skanowania laserowego, należy wymienić m.in.: skrócenie czasu pomiarów terenowych oraz realizację tych prac bez

konieczności ingerowania w bieżące wykorzystania mierzonych obiektów i możliwości pozyskiwania wielu produktów pochodnych opracowywanych na podstawie pozyskanego zbioru danych ALS. Mapa zasadnicza (podstawowa mapa kraju) ma określony sposób prezentacji (rys. 3a) zgodny z obowiązującym standardem, wcześniej określały go przepisy branżowe [24], a następnie kolejno obowiązujące rozporządzenia ministerialne [25, 26, 27]. Dzięki ostatnim zmianom w przepisach związanych z opracowywaniem obiektowego zasobu geodezyjnych baz danych (EGiB,



Rys. 5. Widok ogólny uzyskanych opracowań z obszaru kampusu Kortowo na podstawie zbiorów 2D (a) wraz z pozyskanym NMT (b) i łącznie z modelami budynków 3D (c); źródło: (a) opracowanie [21], (b) opracowanie Lewandowicz, (c) opracowanie Dosckoz



Rys. 6. Modele sieci drogowej 2D (a) i 3D kampusu uniwersyteckiego (b); źródło: opracowanie Lewandowicz

GESUT, BDOT) możliwa jest ich prezentacja obiektowa 2D (rys. 3b), a również wizualizacja 3D (rys. 3c) – jeśli obiekty są określone za pomocą punktów o pomierzonych trzech współrzędnych X, Y, Z [21].

W najprostszym rozwiązaniu wysokości budynków, drzew i latarni przyjmuje się jako wartości hipotetyczne, np. wysokości budynków jako informację wynikającą z liczby ich kondygnacji. Otrzymuje się wtedy wizualizację budynków na poziomie LoD1. Wówczas weryfikację takiego opracowania można wykonać na podstawie zbiorów udostępnionych przez GUGiK, modele budynków 3D i zbiory LAS.

Możliwe są także analizy uzyskanych opracowań 3D, np. na rys. 4. pokazano wizualizację wysokości drzew i rozpiętości ich koron wykonaną na podstawie NMPT wygenerowanego ze zbiorów w formacie LAS.

Głównym celem badań zaprezentowanych w niniejszej pracy było przedstawienie możliwości integracji danych przestrzennych pozyskanych z różnych źródeł, a następnie na ich podstawie realizacja opracowań i wizualizacji 3D. Wiązało się to z utworzeniem w systemie ArcGIS nowych obiektów poprzez zastąpienie segmentów obiektów wejściowych zagęszczonymi przybliżeniami segmentów obiektów map geodezyjnych [28]. Ostatecznie uzyskany rezultat przedstawiono na rys. 5c.

Analizy i oceny dokładności w tym zakresie są przedmiotem badań prezentowanych w kraju oraz w wydawnictwach międzynarodowych [29, 30, 31]. Ponadto wyniki niniejszej pracy zachęcają do kontynuacji badań

w kierunku ustalenia procedur automatyzacji przekształcania zasobu map geodezyjnych do formy 3D. W dalszej perspektywie uzyskane opracowania mogłyby stanowić zasób referencyjny odnośnie do przestrzennej lokalizacji obiektów w wieloaspektowych analizach współczesnego wykorzystania modelowania BIM [np. 32].

Analizy na zbiorach 3D

Analizy przestrzenne oparte na zbiorach 2D i 3D mogą dawać inne wyniki. Jest to szczególnie istotne przy analizach: kryzysowych (powodziowych), transportowych czy w planowaniu lotów dronami. Zbiory 3D odzwierciedlają pełny obraz warunków geograficznych. Wyszukiwanie dróg ewakuacyjnych z uwzględnieniem przeszkód w formie np. ogrodzeń z określoną wysokością umożliwia sprawniejsze i bezpieczniejsze planowanie akcji ratunkowych. Wyszukiwanie optymalnej drogi w analizach sieciowych powinno się opierać o model sieci drogowej 3D, uwzględniający różnice wysokości na odcinkach drogowych. Na przykład różnica w długości odcinka drogi 300 m odczytanej z klasycznej mapy 2D i uzyskanej z modelu 3D, przy spadku podłużnym drogi wynoszącym 30 stopni, wynosi niemalże 50 metrów (zgodnie z zależnościami funkcji trygonometrycznych w trójkącie prostokątnym). W szczegółowych analizach sieciowych może mieć to konsekwencje w wyszukiwaniu drogi najkrótszej i bezpiecznej, a jednocześnie optymalnej pod względem ekonomicznym (związany z minimalizacją zużycia paliwa, np. poprzez unikanie wyboru tras ruchu pojazdów silnikowych w kierunku jazdy wzdłuż dużych wzniesień terenowych).

Wnioski

Na podstawie wykonanych opracowań ogólnie zweryfikowano jakość zgromadzonych zbiorów danych pomiarowych z obszaru części miasteczka akademickiego UWM w Olsztynie. Ponadto stwierdzono, że do wykonania kompletnej mapy wielkoskalowej i jej wizualizacji 3D niezbędne są geodezyjne zbiory pomiarowe oraz dane ze skaningu lotniczego LiDAR. Zastosowanie wyłącznie zbiorów ALS nie zapewnia dokładności odwzorowania budynków na poziomie szczegółowości mapy zasadniczej w skali 1:500. Konieczne jest pozyskanie obrysów budynków i innych obiektów I grupy dokładnościowej z geodezyjnych pomiarów szczegółowych. Uzyskane rezultaty wskazują, że dysponując zasobem geodezyjnym (mapy i dane pomiarowe) oraz zbiorami referencyjnymi (LAS, NMT i modele budynków 3D), można przekształcić istniejący zasób zapisany w zgromadzonych bazach danych do nowej formy prezentacji. Prezentacji przestrzennej (3D) – bardziej czytelnej dla profesjonalistów także z branż pokrewnych, jak również przyjaźniejszej zwykłemu obywatelowi zainteresowanemu użytkowaniem tych danych. Technologia pomiaru 3D powinna być stosowana przy aktualizacji istniejących zbiorów 3D, jeśli nie ma możliwości wykonania pomiarów w technologii skanowania lotniczego (zbiory LAS). Należy wówczas określić, w warunkach technicznych pomiaru 3D, minimalną rozdzielczość punktów pomiarowych na obiektach liniowych i powierzchniowych – aby wysokości pomierzonych punktów w pełni pozwalały na wiarygodną wizualizację obiektów 3D.

W związku z tym obecnie w standardowych zaleceniach dydaktycznych dotyczących ćwiczeń terenowych formułujemy oczekiwania, aby studenckie zespoły pomiarowe pozyskiwały (w miarę możliwości terenowych) trzy współrzędne opisujące położenie wszystkich mierzonych punktów. Umożliwia to przetworzenie typowych map geodezyjnych z opracowań 2D do standardu 3D klasy GIS [np. 18]. Tym samym przyszli inżynierowie uzyskują szerszą perspektywę zawodową i poznają możliwości zastosowania zasobu geodezyjno-kartograficznego w różnych wyzwaniach pojawiających się we współczesnej inżynierii lądowej.

Literatura

- [1] Izdebski W., 2021, Podstawowe usługi danych przestrzennych dedykowane do wykorzystania w systemach informatycznych państwa, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa, <http://www.gugik.gov.pl/pzjgik/podstawowe-uslugi-danych-przestrzennych>.
- [2] GUGiK, 2021, Projekty realizowane w Głównym Urzędzie Geodezji i Kartografii, <http://www.gugik.gov.pl/projekty>.
- [3] GUGiK, 2019, Dane udostępniane bezpłatnie – do pobrania z serwisu www.gugik.gov.pl, <http://www.gugik.gov.pl/pzjgik/inne-dane-udostepniane-bezplatnie>.
- [4] OGC, 2021, Open Geospatial Consortium Standards. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, <https://www.ogc.org/docs/ogc>.
- [5] Januszkiewicz K., Kowalski K.G., 2020, Modelowanie informacji budowlanych w technologii BIM – rola modelu parametrycznego, ARCHITECTURAE et ARTIBUS, 4, 18–41.
- [6] Błaszczyk-Bąk W., Sobieraj-Złobierska A., 2017, Metoda OptD do redukcji danych w opracowaniu wyników pomiarów linii elektroenergetycznych, „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury”, z. 64, nr 4/II, s. 319–330.
- [7] Niezabitowska-Wiśniewska B., Nitychoruk J., Wiśniewski T., Krajczak M.T., 2020, Czy Piekielko koto Tomaszowa Lubelskiego jest stanowiskiem archeologicznym? Wyniki badań geologicznych, archiwalnych i archeologicznych, „Przegląd Archeologiczny”, 68, s. 277–313, <https://doi.org/10.23858/PA68.2020.011>
- [8] Majewska A., 2020, Materiałna pamięć krajobrazu cmentarzy w wyludnionych wiejskich jednostkach osadniczych polskiej części dawnych Prus Wschodnich – wybór zagadnień, Studia Geohistorica, nr 8, s. 7–25, DOI: 10.12775/SG.2020.01.
- [9] Druszcz M., 2018, Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych do ochrony instalacji liniowych infrastruktury krytycznej, „Przegląd Polityczny”, 4(132), s. 53–68.
- [10] Wężyk P., Szostak M., Tompański P., 2010, Aktualizacja baz danych SILP oraz Leśnej Mapy Numerycznej w oparciu o dane z lotniczego skaningu laserowego, „Archiw. Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji”, 21, s. 437–446.
- [11] Piasecka Ż., Pluto-Kossakowska J., 2017, Przydatność danych lidarowych do zwiększenia potencjału informacyjnego bazy danych topograficznych w klasie „drzewo”, „Teledetekcja Środowiska”, T. 57, s. 15–26.
- [12] Rybicki M.P., 2018, Modelowanie przestrzeni miejskiej w oparciu o dane z LiDAR, UWM w Olsztynie, Wydział Geoinżynierii [praca magisterska, promotor E. Lewandowicz].
- [13] Kowalczyk K., 2020, Tworzenie i aktualizacja modelu trójwymiarowego dzielnicy Wola m.st. Warszawy na podstawie danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego, Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii [praca inżynierska, promotor K. Bakula].
- [14] Kubba S., 2012, Building Information Modeling, in Handbook of Green Building Design and Construction, Butterworth-Heinemann, s. 201–226, DOI: 10.1016/B978-0-12-385128-4.00005-6.
- [15] Bazjanac V., 2007, Impact of the U.S. National Building Information Model Standard (NBIMS) on building energy performance simulation, „Proceedings: Building Simulation”, s. 1377–1382.
- [16] Borkowski A.S., 2017, Importowanie mapy zasadniczej do modelu BIM, „Budownictwo i Architektura”, 16, 45–51, DOI: 10.24358/Bud-Arch.17.163.05.
- [17] Borkowski A.S., Michalkiewicz A., 2022, Technologia BIM w procesie realizacji inwestycji budowlanych: studia przypadków firmy SXD Polska, „Builder” 2 (295), DOI: 10.5604/01.3001.0015.6950.
- [18] Lewandowicz E., Doskocz A., 2015, Converting of surveying CAD maps into 3D GIS. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining Conference Proceedings SGEM2015, Vol. II, s. 795–802, Albena, <http://dx.doi.org/10.5593/SGEM2015/B22/S11.100>.
- [19] Doskocz A., Lewandowicz E., Wieczorek B., Chojka A., 2012, Źródła danych GIS. Seminarium „GIS w Kortowie”, UWM w Olsztynie, w: Platforma Naukowej Interaktywnej Telewizji w sieci PIONIER, <http://platontv.pl/adv?page=11&owner=Uniwersytet+Warmi%C5%84sko-Mazurski+w+Olsztynie&order=3&id=1294>.
- [20] Doskocz A., 2016, Program ćwiczeń terenowych z przedmiotu „Geodezja z geomatyką” [maszynopis], UWM.
- [21] Opracowania wykonane w ramach Pracowni Dyplomowej pod kierunkiem Lewandowicz E., Wydział Geoinżynierii UWM w Olsztynie: Archacka A., 2017, Integracja niezależnych zbiorów przestrzennych 3D Kortowa z prac studenckich [praca inżynierska], Kaszubowska D., 2018, Analiza wysokości drzew na bazie zbiorów LAS [praca magisterska], Mrozek M., 2013, Wykorzystanie Quantum GIS do analiz sieciowych w oparciu o sieć drogową Kortowa [praca inżynierska].
- [22] ESRI, 2021, ArcGIS Pro komputerowy system GIS nowej generacji, <https://www.esri.com/pl-pl/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
- [23] Tanajewski D., Bakula M., 2016, Application of Ground Penetrating Radar Surveys and GPS Surveys for Monitoring the Condition of Levees and Dykes, „Acta Geophysica”, vol. 64, no. 4, s. 1093–1111, DOI: 10.1515/acgeo-2016-0006.
- [24] Instrukcja techniczna K-1, 1979, 1995, 1998: „Mapa zasadnicza” lub „Podstawowa mapa kraju”, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- [25] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 12 lutego 2013 r. w sprawie bazy danych geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu, bazy danych obiektów topograficznych oraz mapy zasadniczej.
- [26] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 2 listopada 2015 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz mapy zasadniczej.
- [27] Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 23 lipca 2021 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz mapy zasadniczej.
- [28] ArcGIS, 2021, An overview of the Data Management toolbox: Geodetic Density, <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.4/tools/data-management-toolbox/geodetic-density.htm>.
- [29] Pilarska M., Ostrowski W., Bakula K., 2017, Analiza dokładności modelowania 3D budynków w oparciu o dane z lotniczego skanowania laserowego, Arch. Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 29, s. 155–175.
- [30] Ostrowski W., Pilarska M., Charyton J., Bakula K., 2018, Analysis of 3D building models accuracy based on the airborne laser scanning point clouds, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, s. 797–804.
- [31] Wierzbicki D., Matuk O., Bielecka E., 2021, Polish Cadastre Modernization with Remotely Extracted Buildings from High-Resolution Aerial Orthoimagery and Airborne LiDAR, Remote Sensing, 13, 611, <https://doi.org/10.3390/rs13040611>.
- [32] Kroner W., Noszczyk P., Noszczyk T., 2020, BIM w fizyce budowli. Możliwości i wykorzystanie w praktyce, „Builder” 07 (276), DOI: 10.5604/01.3001.0014.1473.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.8331

PRAWDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Doskocz Adam, Lewandowicz Elżbieta, 2022, Modyfikacja i integracja danych przestrzennych pozyskanych z różnych źródeł w celu wykonywania analiz przestrzennych oraz opracowywania modeli 3D budynków, „Builder” 5 (298), DOI: 10.5604/01.3001.0015.8331

Streszczenie: Od 2019 roku Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK) nieodpłatnie udostępnia online zbiory uzyskane z lotniczego skaningu laserowego i ich produkty pochodne. Dane te umożliwiły przekształcenie (transformację) istniejącego zasobu map geodezyjnych (zbioru danych zgromadzonych w przestrzeni 2D) do obiektów przestrzennych oraz ich wizualizacji 3D. Celem niniejszej pracy było przedstawienie wykonanej transformacji danych i ocena jakości zrealizowanego procesu. Dodatkowo sprawdzono, czy zgromadzone dane mogą być bezpośrednio wykorzystane do budowy bazy danych trójwymiarowych (3D) – stanowiącej produkt atrakcyjny dla specjalistów z dziedziny inżynierii lądowej. Jest to istotne ustalenie, wiedząc, że służba geodezyjna wykonuje pomiary w nawiązaniu do osnowy poziomej i wysokościowej, czyli współcześnie wyznaczone są trzy współrzędne mierzonych obiektów.

W pracy wykorzystano zbiory udostępnione przez GUGiK, a także zbiory wektorowe zgromadzone na Wydziale Geoinżynierii UWM w Olsztynie. Ze zbiorów pozyskanych metodą pomiarów bezpośrednich w ramach studenckich praktyk pomiarowych opracowano bazy danych z obiektami zapisanymi za pomocą dwóch i trzech współrzędnych. Uzyskane w niniejszej pracy rezultaty wskazują, że można przekształcić istniejący zasób danych pomiarowych oraz map geodezyjnych do nowej formy prezentacji – prezentacji przestrzennej (3D) – bardziej czytelnej dla profesjonalistów wykorzystujących technologię BIM (ang. Building Information Modelling), jak również przyjaźniejszej obywatelom zainteresowanym użytkowaniem tych danych.

Słowa kluczowe: zasób geodezyjny i kartograficzny, geo-dane, mapy i dane 2D, wizualizacje 3D

Abstract: MODIFICATION AND INTEGRATION OF SPATIAL DATA OBTAINED FROM VARIOUS SOURCES IN ORDER TO PERFORM SPATIAL ANALYSES AND DEVELOP 3D MODELS OF BUILDINGS. Since 2019 in Poland, the Head Office of Geodesy and Cartography (abbrev. in Polish, GUGiK) has made available on-line free of charge collections obtained from airborne laser scanning and their derivatives. These data enabled the conversation (transformation) of the existing resource of geodetic maps (a set of data collected in 2D space) into spatial objects and their 3D visualization. The purpose of this paper is to present the data transformation performed and to assess the quality of the implemented process. In addition, it was checked whether the collected data can be directly used to build a three-dimensional (3D) database – constituting a product attractive to specialists in the field of civil engineering. This is an important finding, knowing that the geodetic service performs measurements in relation to the horizontal and altitude network, i.e. nowadays, three coordinates of the measured objects are determined. The work uses the sets provided by GUGiK, as well as vector sets collected at the Faculty of Geoen지니어ing at UWM in Olsztyn. The sets were obtained from direct measurements carried out as part of measurement's student practices, from which databases with recorded objects using two and three coordinates were developed. The results obtained in this study indicate that it is possible to transform the existing resource of measurement data and geodetic maps into a new form of presentation - spatial (3D) presentation - more readable for professionals using BIM technology (Building Information Modelling), as well as more friendly to citizens interested in using these data.

Keywords: geodetic and cartographic resources, geo-data, 2D data and maps, 3D visualizations