

DOI: 10.21005/pif.2017.31.A-03

GENERATION OF CITYGML LOD1 CITY MODELS USING BDOT10K AND LIDAR DATA

TWORZENIE MODELI MIAST CITYGML LOD1 Z UŻYCIEM DANYCH BDOT10K ORAZ LIDAR

Paweł Rubinowicz

dr inż. arch.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Budownictwa i Architektury
Katedra Urbanistyki i Planowania Przestrzennego

ABSTRACT

The research presented in the article focuses on creating 3D city models in CityGML LoD1 standard while using two data sources available in Poland: a) Database of Topographic Objects (BDOT10k) and b) LiDAR data collected under the ISOK project. It resulted in developing a computer software of BDOT10k 3D-CAD EXPLORER. The software provides for relatively fast and fully automated generation of LoD1 models and their visualization and recording in CAD. Results can be used for further research and practical application in spatial planning, urban planning and architectural designing.

Key words: 3D city models, BDOT10k, CAD, CityGML, LiDAR, urban design.

STRESZCZENIE

Badania przedstawione w artykule dotyczą tworzenia modeli 3D miast w standardzie CityGML LoD1 z zastosowaniem dwóch zasobów danych, które są dostępne w Polsce: a) Bazy Obiektów Topograficznych (BDOT10k) oraz b) danych LiDAR zgromadzonych w ramach projektu ISOK. Rezultatem jest program komputerowy: BDOT10k 3D-CAD EXPLORER. Umożliwia on relatywnie szybkie i w pełni automatyczne generowanie modeli LoD1 oraz ich wizualizację i zapis w formatach CAD. Wyniki mogą mieć zastosowanie dla rozwoju badań i wdrożeń w planowaniu przestrzennym, urbanistyce i projektowaniu architektonicznym.

Słowa kluczowe: BDOT10k, CAD, CityGML, LiDAR, modele miast 3D, urbanistyka.

1. INTRODUCTION

A 3D city model is an important spatial and urban planning tool and architectural development takes place in a specific spatial context. According to the principle of good neighbourly relations, the building should fit smoothly into the context. In a number of cases, there is a need to provide versatile examination of the relationship between buildings planned and the existing urban structure in a larger space. The quality of the 3D model influences the quality of analysis and consequently the quality of city planning. Of course, the application of 3D models is much broader (e.g. environmental impact, crisis management scenarios, acoustic climate [6, p. 49] and many more [2, s. 2851]). The use of 3D models in urban planning seems to be a very basic and significant task, since it applies directly to the development of the city space. Unfortunately, this aspect of using 3D models in Poland is still undervalued and poorly developed. There are several reasons of the situation: a) the lack of access to 3D models in a vector format, b) lack of harmonised and mandatory national standard for 3D models, c) differences and disparities between CAD and GIS; and d) poor dissemination of scientific knowledge between the community of architects and urban planners – and experts in geographic information, photogrammetry and remote sensing.

In Western Europe, CityGML is a common standard for 3D city models. The idea was established in 2003 [13]. At the moment, CityGML enjoys the status of the international data exchange format. It is supported by OGC (Open Geospatial Consortium) and ISO standards [14, p. 18], and it is in line with the INSPIRE – directive of the European Commission. While analysing CityGML, the most significant issue is that it is a “unified standard”. Each city model developed in that format follows exactly the same rules and can be processed using the same software. Advantages of CityGML include: a) implemented LoD (Level of Details) precision scale; and b) hierarchical geometrical data organisation (buildings and other facilities) according to a semantic structure [14, pp. 18-21]. However, it is restricted to a single building only and does not provide the possibility of examining of larger urban structures.

In Poland, CityGML “does not work”. On the one hand, there is a shortage of models, the format still remains unknown and it is not used. 3D city models, developed in recent years, are not public. They were developed in different software environments and they are not harmonised. On the other hand, Poland is the leader in Europe as regards LiDAR scanning. This results from the project of ISOK (national information system for protecting against extraordinary threats) [18]. ISOK provided precise measurements of the country. In parallel, in combination with ISOK, the BDOT10k database was created, covering existing 2D development. The article presents research on using LiDAR and BDOT10k for developing 3D city models and their transfer to the CAD environment (used by architects and urban planners).

2. OBJECTIVES

The research presented in the article aims at using LiDAR and BDOT10k data for building CityGML LoD1 models. For that purpose, a dedicated software was developed, which enables generating 3D models in a fully automated manner. It supports also export of output data to the CAD environment. The LoD1 model is easily available (it neglects roof geometry and contains only bodies of buildings). However, the calculation of coordinates for building foundations and average height is an analytical challenge. Processing of complex data and correlation of 2D outlines and digital altitude data (DSM, DTM) requires specific solutions and those are discussed in the article.

3. BDOT10K DATA IN POLAND

The first database to be used in research is BDOT10k, the Topographic Objects Database. The database, established in 2012-2013, covers the territory of Poland and presents information about land development in the country. It is, however, only a 2D database and “10k” in its name corresponds to the precision scale of 1:10 000. BDOT10k contains information about spatial location and descriptive attributes of topographic objects [11, p. 11]. It includes 2D outlines of buildings, as well as the structure of transport network, water systems, territorial division and other land development (fig. 1). A category marked PT (land coverage) is a valuable resource which provides for continuous classification of land by the type of its development (e.g. forest, land under road, multi-family housing) [12, p. 71]. Although BDOT10k does not contain outlines of roads along curbs, which could be valuable in urban planning, buildings are reflected with much precision. The average length of a building outline section is 6-7 m. Comparing with other objects defined in BDOT10k, the average length of a single outline section is 16-20 m. Building outlines (class BUBD) comprise the largest of all components in the database and account for about 30% of all data¹. The above parameters have been calculated based on an analysis of selected cities (table 1).

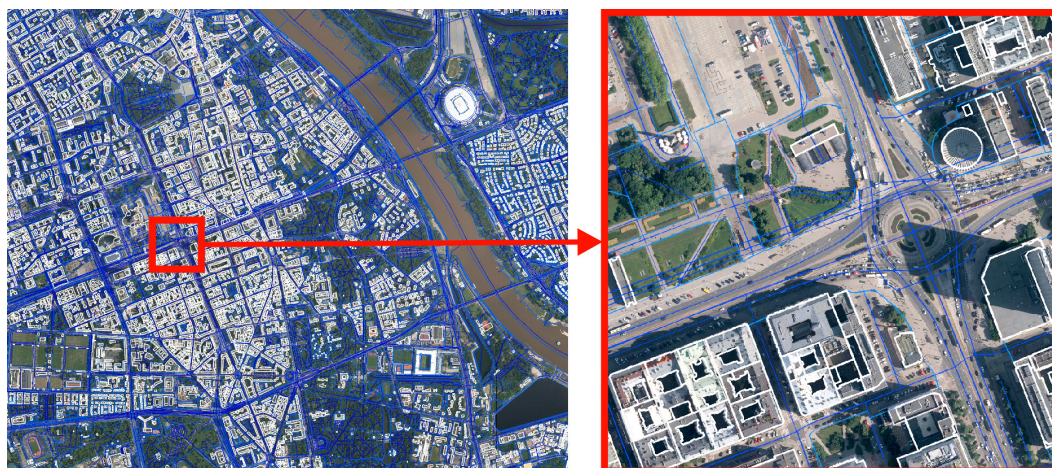


Fig. 1. All categories of BDOT10k – section of Warsaw. Source: developed by author
Ryc. 1. Wszystkie kategorie danych BDOT10k – fragment Warszawy. Źródło: opr. autora

Table 1. Analysis of selected BDOT10k database parameters. Source: developed by author

City	Number of buildings (class BUBD)	Average length of buildings outline section	Average length of other facilities outline section	Size of BUBD comparing to full BDOT10k
Warsaw	149731	6,47	18,31	32,7%
Cracow	88270	6,79	18,95	30,1%
Poznan	71629	6,50	19,36	34,3%
Szczecin	42558	6,74	21,15	29,9%
Torun	21333	6,94	21,78	30,2%

¹ By the number of points defining shapes of objects.

The BDOT10k structure has been defined in greater detail in attachments to the Regulation of the Polish Minister of Internal Affairs and Administration of November 2011 [15]. Two volumes of the documentation consist of about 1000 pages, which actually reflect the complexity of the database². Objects are divided by levels, with level one containing 8 categories, level two 52 classes, and level three 282 types. BDOT10k has been subject of a number of scientific publications, including: [12, 10, 5, 6]. The database is available in the GML/XML format (similarly to CityGML). Therefore, it is possible to have a direct insight into data in their textual format (e.g. Notepad++). This helps examining its content, semantics and data organization. A key resource comprises buildings (BUBD). For each building, BDOT10k defines different parameters, such as a) function by 21 types, b) number of levels³, c) information whether a building is a historical monument, d) code according to the Polish Classification of Assets (KTŚ) and other.

4. LIDAR DATA IN POLAND

Another database used in research originates from aerial scanning (ALS). The ISOK [18] Programme helped scanning the area of Poland and the country is now one of leaders in using the technology in Europe. LiDAR data of 12 points per 1m² are available for all larger cities. It helped developing DSM⁴ (regular mesh of 0.5m) and DTM⁵ (regular mesh of 1.0m). The conversion of LiDAR to DSM and DTM enables eliminating objects which do not permanently affixed to the land (e.g. cars, pedestrians etc.). While DTM provides a geometrical picture of land configuration in a city, DSM reflects the coverage of the city and includes buildings, green and other 3D objects.

While BDOT10 is a database of a precisely defined semantics, DSM and DTM are sets determining the third dimension purely geometrically. DSM and DTM are available in ESRI ASCII as a cloud of 3D points. Thus, we lose the possibility of distinguishing topographic objects. We gain, however, precise information about 3D city geometry, which is not a part of BDOT10k. The data are linked through orthophotomaps, which were developed for all major Polish cities by ISOK. Their precision is very high (terrain pixel of 10cm). Synthesis of DSM, DTM and orthophotomaps provides for 3D visualisation of the city (fig. 2). It also creates a basis for developing 3D models in the LoD1 standard.

5. BUILDINGS HEIGHT ATTRIBUTES

Since the geometry of roofs, protruding tower like tops and other architectural components is neglected, the LoD1 3D model covers building bodies only. In fact, the LoD1 structure is based on a calculation of height attributes. The higher the precision of the calculation, the closer is the LoD1 model to the actual 3D structure of a city. Considering that BDOT10k contains information about the number of floors, the use of the database is the most straightforward way to determine the third dimension of a city [cf. 4, p. 66]. However, models built up on that database are very inaccurate due to the following reasons: a) height of particular floors may vary significantly⁶, b) land configuration is neglected, c) not all BDOT10k facilities have their number of floors determined⁷.

² Attachments to the Ministerial Regulation present the structure of the database of general geographic objects (BDOO), which was established in result of generalisation of BDOT10k data.

³ For almost all buildings.

⁴ DSM – Digital Surface Model.

⁵ DTM – Digital Terrain Model.

⁶ Gross height of a floor in buildings made of prefabs it is 2.8m, in pre-war tenement houses 3.5 to 4.5m; in single level industrial facilities 20-30m, whereas in churches the number of levels is unreliable.

⁷ Applicable to various facilities, including churches.

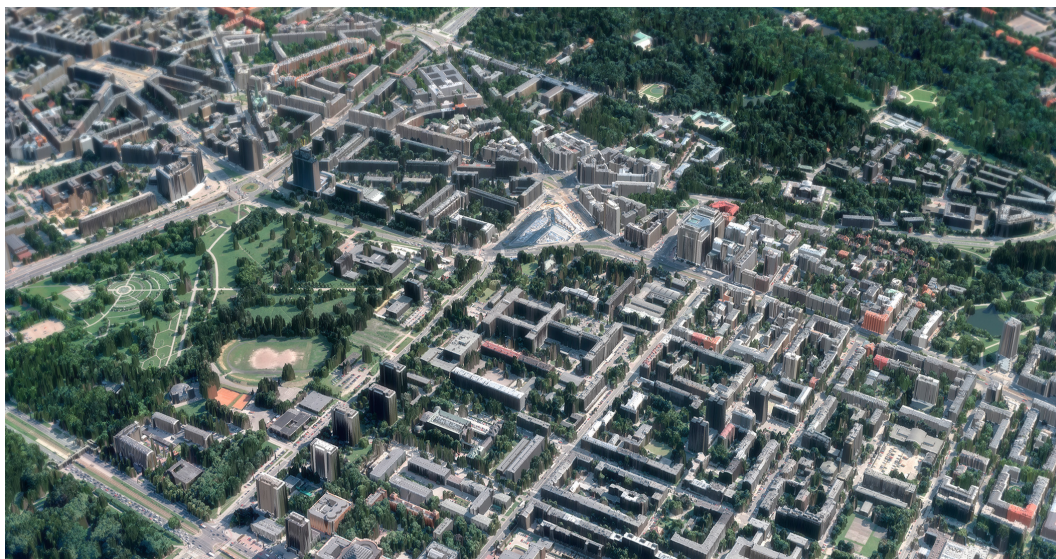


Fig. 2. Visualization of DSM model of Warsaw (grid 50cm). Source: developed by author
Ryc. 2. Wizualizacja modelu NMPT Warszawy (sitka 50cm). Źródło: opr. autora.

Under the research concerned, the calculation of height attributes involved DSM and DTM models, similarly to the British OS MasterMap Topography Layer [16]. The OS MasterMap documentation, however, lacks information about the method of calculating height attributes. All we know is that relevant mathematical algorithms have been used [16, p. 63]. While establishing the height under the research presented in the article, it is crucial to determine two parameters for each building, namely a) foundation coordinate, and b) height of the building above the ground level.

According to the above method, the analysis covers all DSM and DTM points within the perimeter of a building. There are many such points, for instance the perimeter of the St. James Cathedral in Szczecin, Poland, contains 2940 DTM points reflecting the configuration of land under the building and 11782 DSM points for the body of the facility. The lowest DTM point has been adopted as a foundation coordinate. There are two options for calculating the height of a building: a) **H-mid**: a difference between the mean DSM height and the foundation coordinate, or b) **H-max**: a difference between the maximum DSM height and the foundation coordinate. The principle is presented in the chart below (fig. 3). **H-mid** is more reliable for developing 3D LoD1 city models.

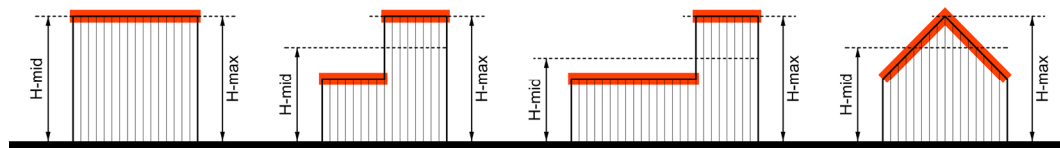


Fig. 3. Building height attributes: formula for defining H-mid and H-max. Source: developed by author
Ryc. 3. Atrybuty wysokości budynków: określanie wysokości H-mid i H-max. Źródło: opr. autora

6. RESULTS

The research presented in the article led to developing of BDOT10k 3D-CAD EXPLORER [3]. It was developed by the author in C++. Its beta version v.0.1 was released in September 2017 (fig. 4). A major challenge was to ensure the possibility of processing large

volumes of data. The functionality analysis involved data for 23 large Polish cities⁸. The total data volume reached about 4TB. The majority of them are LiDAR data which, at the current stage, are not yet used. After discarding those data, we still have: a) 339GB for orthophotomaps, b) 161GB for DSM models, c) 49GB for DTM models, and d) 7GB for BDOT10k. The data set concerned includes 1151 GeoTIFF files, 1256 files for DSM and 1256 files for DTM. BDOT10k included 2786 XML files. In total, after excluding *.LAS files (LiDAR), the data set used in analysis comprised 6431 files (ca. 0,6TB).

BDOT10k 3D-CAD EXPLORER has introduced new data recording formats for DSM, DTM and BDOT10k. Data converted to those formats occupy about 50% less space and reading them is approximately 100 times faster. The software provides for an automatic generation of 3D LoD1 models and their visualization. The result can be recorded in the CAD format (e.g. DXF) and cover: a) LoD1 building models, a) land configuration model of required accuracy, and c) vector attributes of remaining BDOT10k data fitted into the 3D land configuration. The software operates relatively fast. The longest operation is data loading. For an area of 100 km² using an average class PC⁹ it takes about 21s. Although thousands of buildings and millions of DSM/DTM points can be analysed, the process of calculating building height attributes for such an area takes 3-6 seconds. The visualization of the Full HD city model, including shadows, for 1 km² takes 1-2 s, whereas for an area of 100 km², it is 5-10 s.

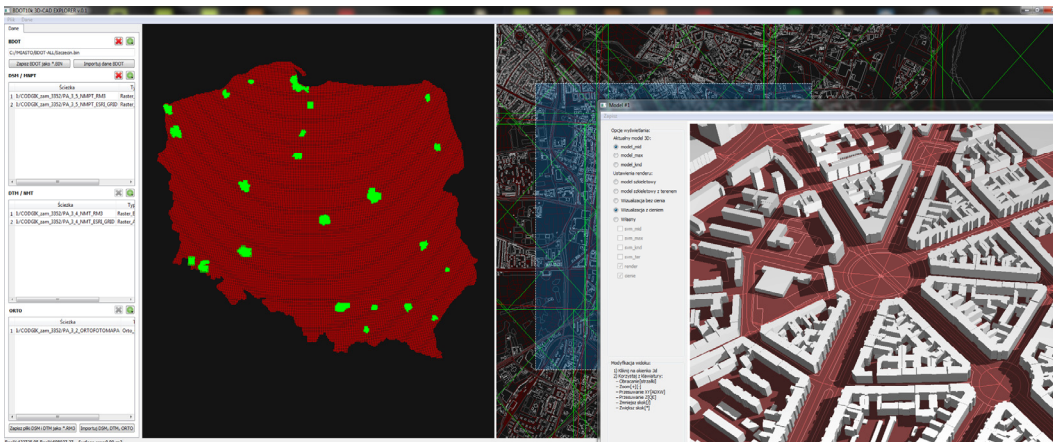


Fig. 4. BDOT10k 3D-CAD EXPLORER [3]. Source: developed by author
Ryc. 4. BDOT10k 3D-CAD EXPLORER [3]. Źródło: opr. autora

7. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The need to include the third dimension in urban design seems obvious. Regardless techniques used, be it sketching, drawing, developing a physical or digital models, universal challenges and demands need to be met, such as: a) accessibility of data to develop a model, b) adjusting parameters of a model to specific goals, and c) accessibility of tools that enable meeting those goals while using the model.

We may explore virtual landscapes of cities by using Google Earth or F4map. This, however, does not help much as regards urban planning and analytical work. Although we can have a complex view of a city, we lack tools to use the resource for designing. The

⁸ Białystok, Gdańsk, Gdynia, Grudziądz, J. Góra, Koszalin, Kraków, Łódź, Lublin, N. Sącz, Poznań, Przemyśl, Rzeszów, Słupsk, Sopot, Suwałki, Świnoujście, Szczecin, Tamów, Toruń, Warszawa, Wrocław, Zamość.

⁹ The analysis has been performed using a computer with i7 (3770) 3.4GHz Quad Core Processor 8GB RAM and NVIDIA GeForce GTX 550 TI graphic card.

inability to transfer data to the environment in which we can process them diminishes their significance. We can see data but we are not able to use them.



Fig. 5. LoD1 city models generated by BDOT10k 3D-CAD EXPLORER: a) Warsaw, b) Szczecin – 100km² area, c) Cracow, d) Lodz, e) Lublin. Source: developed by author

Ryc. 5. Modele miast w LoD1 generowane przez BDOT10k 3D-CAD EXPLORER: a) Warszawa, b) duży fragment Szczecina – 100km², c) Kraków, d) Łódź, e) Lublin. Źródło: opr. autora

A solution might be to use data collected and accessible. In such an instance, tools and methods used in city design and analysis need to be adjusted to make the processing of specific data type possible. For example, in the 2TaLL project [1], which examined the

impact of tall buildings on the cityscape, VIS and VPS methods were adjusted to process CityGML data for the purpose of analysing selected German cities (e.g. Berlin, Frankfurt, Dresden) [7, 17, 1], and to use LiDAR data to analyse cities in Poland (e.g. Warsaw, Wrocław, Szczecin) [8, 9, 1].

The research enables using resources available in Poland, including BDOT10k, LiDAR, (and derived from them DSM and DTM), for automated development of CityGML LoD1 models. BDOT10k 3D-CAD EXPLORER provides for automated and very fast model development and conversion to CAD (fig. 5). Models can be used for imaging of a spatial context in urban projects, analysing the height structure of a city, and examining of urban parameters, e.g. intensity of build-up environment¹⁰. Additionally, while analysing and visualising, we can use BDOT10k semantics and information about functions of specific facilities, with breakdown by historical buildings, asset types and other (similarly to GIS).

For research purposes, methods were developed to enable creating 3D models in the LoD2 standard. The standard provides for more precise imaging of building bodies including roofs [6]. Relevant software solutions enable the task, e.g. Envi LiDAR or Building-Reconstruction developed by virtualcitySYSTEMS. However, those solutions do not guarantee the possibility of fully automated model development. Hence, although very time consuming, manual verification, revision and supplementation of data are necessary. Another very important factor is a very high cost of software. Moreover, a higher precision of a model is not always desired. An example is the negative 3D method (N3D) aimed at generating and analysing 3D models reflecting intangible space between buildings [19, 20]. In this particular case, a more general 3D picture of a city (LoD1) provides a more convenient basis for the application of the method. The higher the precision of the model, the larger the size and complexity of its geometrical structure. Additionally, there are more areas in which hardly detectable mistakes in the data structure can be made.

While developing BDOT10k 3D-CAD EXPLORER, a significant challenge was to process efficiently data available in Poland (DSM, DTM, orthophotomaps and BDOT10k). Extension of data availability in WMF (Web Mapping Service) in the form of a web service that speedily provides LoD1 models of virtually any part of Poland in the CAD format (friendly to architects and urban planners) would be an interesting perspective for a possible development of the software. Although from a technical point of view it seems possible, it creates a formal barrier, since the data are not publicised as 'open source'.

TWORZENIE MODELI MIAST CITYGML LOD1 Z UŻYCIEM DANYCH BDOT10K ORAZ LIDAR

1. WPROWADZENIE

Trójwymiarowe modele miast są ważnym narzędziem w planowaniu przestrzennym i w urbanistyce. Każde dzieło architektoniczne powstaje w określonym kontekście przestrzennym. W myśl zasady dobrego sąsiedztwa, powinno się weń właściwie wpisać. W wielu przypadkach istnieje konieczność badania relacji nowej zabudowy z zastaną strukturą urbanistyczną także w większym zakresie obszarowym i w bardzo różnych aspektach. Jakość modelu 3D wpływa na jakość analiz i w efekcie na jakość projektowania miasta. Zakres aplikacji modeli 3D jest oczywiście szerszy (np.: oddziaływanie na środowisko, scenariusze reakcji na zagrożenia kryzysowe, klimat akustyczny [6, s. 49] i wiele innych [2, s. 2851]), jednak wykorzystanie modeli 3D w projektowaniu urbanistycznym wydaje się być zadaniem podstawowym i najbardziej istotnym, bo dotyczy przecież bez-

¹⁰ Although geometric representation of a model is simplified, data defining the volume of buildings are very precise, since they were derived from DSM and DTM analysis (while taking into consideration all architectural components of buildings).

pośrednio kształtowania przestrzeni miejskiej. Niestety ten właśnie aspekt zastosowania modeli 3D jest w Polsce niedowartościowany i zbyt słabo rozwinięty. Można wskazać kilka przyczyn: a) brak dostępności modeli 3D w formacie wektorowym, b) brak ujednoliconego i obowiązującego w kraju standardu tworzenia modeli 3D, c) różnice i rozbieżności między CAD i GIS; d) brak odpowiedniej komunikacji naukowej między środowiskiem architektów i urbanistów, a środowiskiem ekspertów w dziedzinie geoinformacji, fotogrametrii i teledetekcji.

W krajach Europy zachodniej obowiązującym standardem zapisu modeli miast 3D jest CityGML. Idea powstała już w 2003 roku [13]. Obecnie CityGML ma status międzynarodowego formatu wymiany danych. Jest wspierany przez OGC (Open Geospatial Consortium), jest zgodny z standardami ISO [14, s. 18] i z dyrektywą komisji europejskiej INSPIRE. Analizując znaczenie CityGML, najistotniejszym jest fakt, że jest to „zuniifikowany standard”. Model każdego miasta zapisany w tym formacie jest zbudowany wg identycznych reguł i może być przetwarzany przez takie samo oprogramowanie. Walorem CityGML jest także: a) wdrożenie standardów dokładności modelu wg skali LoD (Level of Details); oraz b) hierarchiczna organizacja danych geometrycznych (zabudowa i inne elementy miasta) wg struktury semantycznej [14, s. 18-21]. Obowiązuje ona jednak tylko do poziomu pojedynczego budynku i nie zakłada możliwości organizacji większych struktur urbanistycznych.

W Polsce CityGML „nie działa”. Nie ma modeli, format nie jest znany i nie jest stosowany. Modele miast 3D, które powstawały na przestrzeni ostatnich lat nie są dostępne publicznie. Zostały opracowane w różnych środowiskach programowych w sposób niespójny. Z drugiej strony, Polska jest w Europie liderem z zakresie skanowania LiDAR. Zawdzięczamy to projektowi ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami) [18]. W ramach ISOK kraj został precyzyjnie pomierzony. Równolegle i w powiązaniu z ISOK powstała baza danych BDOT10k, obejmująca aktualne zagospodarowanie 2D. Intencją badań przedstawionych w tym artykule jest wykorzystanie zasobów LiDAR i BDOT10k – dla tworzenia modeli miast 3D i ich transferu do środowiska CAD (stosowanego przez architektów i urbanistów).

2. CEL BADAŃ

Badania przedstawione w artykule zmierzają do wykorzystania danych z naltów LiDAR oraz danych BDOT10k do budowania modeli w standardzie CityGML LoD1. Opracowano oprogramowanie dedykowane do realizacji tego celu. Umożliwia ono generowanie modeli 3D w sposób w pełni automatyczny. Pozwala również na eksport uzyskanych danych do środowiska CAD. Model LoD1 jest najprostszym do uzyskania (pomija geometrię dachów i zawiera tylko bryły budynków). Jednak już kalkulacja rzędnej posadowienia obiektu oraz jego uśrednionej wysokości jest wyzwaniem analitycznym. Przetwarzanie złożonych danych oraz korelacja obrysów 2D i numerycznych danych wysokościowych (NMPT, NMT), wymaga odpowiednich rozwiązań, które zostały omówione w artykule.

3. DANE BDOT10K W POLSCE

Pierwszym zasobem danych, który wykorzystano w badaniach jest Baza Obiektów Topograficznych: BDOT10k. Baza dotyczy Polski. Powstała w latach 2012-2013. Prezentuje informacje o zagospodarowaniu kraju, jednak – wyłącznie w wymiarze 2D. Komponent nazwy „10k” oznacza dokładność odpowiadającą skali 1:10 000. BDOT10k zawiera informacje o lokalizacji przestrzennej oraz atrybuty opisowe obiektów topograficznych [11, s. 11]. Obejmuje obrysy 2D budynków, a także strukturę sieci komunikacyjnej, sieć wodną, jednostki podziału terytorialnego i inne elementy zagospodarowania (ryc. 1). Cennym zasobem jest kategoria PT (pokrycie terenu), która obejmuje w sposób ciągły klasyfikację terenu wg sposobu zagospodarowania (np. las, teren pod drogą kołową, zabudowa wielorodzinną) [12, s. 71]. Baza danych BDOT10k nie zawiera obrysów dróg w liniach kra-

wężników, co byłoby cenne dla potrzeb projektowania urbanistycznego. Natomiast budynki są reprezentowane z bardzo dużą dokładnością. Średnia długość pojedynczego odcinka obrysu budynku to 6-7 metrów. W przypadku innych obiektów zdefiniowanych w BDOT10k, średnia długość pojedynczego odcinka obrysu wynosi już 16-20 metrów. Obrysy budynków (klasa BUBD) są największym komponentem bazy – stanowią ok. 30% danych. Przytoczone parametry wyliczono na podstawie analizy 26 miast (tab.1).

Struktura BDOT10k jest szczegółowo określona w załącznikach do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji RP z listopada 2011 roku [15]. Dwa tomy dokumentacji to około 1000 stron, co świadczy o złożoności bazy danych¹¹. Obiekty są podzielone: na pierwszym poziomie – na 8 kategorii, na drugim poziomie – na 52 klasy, a na trzecim poziomie – na 282 typy. BDOT10k jest przedmiotem wielu publikacji naukowych, w tym: [12, 10, 5, 6]. Baza jest udostępniana w formacie GML / XML (podobnie jak CityGML). Mamy zatem możliwość bezpośredniego podglądu danych w formie tekstowej (stosując np. Notepad++). Przybliża to rozpoznanie treści, semantyki i organizacji danych. Kluczowym zasobem są budynki (BUBD). W BDOT10k, dla każdego budynku określono różne parametry: a) funkcję obiektu wg 21 typów, b) liczbę kondygnacji¹², c) informację czy, jest to obiekt zabytkowy, d) kod wg obowiązującej w Polsce Klasyfikacji Środków Trwałych (KTŚ) i inne.

Tab. 1. Analiza wybranych parametrów bazy danych BDOT10k. Źródło: opr. autora

Miasto	Liczba budynków (klasa BUBD)	Średnia długość odcinka obrysu budynków	Średnia długość odcinka obrysu innych obiektów	Rozmiar BUBD względem całej bazy BDOT10k
Warszawa	149731	6,47	18,31	32,7%
Kraków	88270	6,79	18,95	30,1%
Poznań	71629	6,50	19,36	34,3%
Szczecin	42558	6,74	21,15	29,9%
Toruń	21333	6,94	21,78	30,2%

4. DANE LIDAR W POLSCE

Kolejnym zasobem danych, który wykorzystano w badaniach jest skaning lotniczy (ALS). W ramach programu ISOK [18] Polska została bardzo dokładnie zeskanowana i jest obecnie jednym z liderów w dziedzinie zastosowania tej technologii w Europie. Dla wszystkich większych miast są dostępne dane LiDAR o rozdzielności 12 punktów na 1m². Na tej bazie powstał NMPT¹³ (na regularnej siatce 0,5m) oraz NMT¹⁴ (na regularnej siatce 1,0m). Konwersja danych LiDAR do NMT i NMPT umożliwiła eliminację obiektów, które nie stanowią trwałego zagospodarowania (np. samochody, przechodnie, itp.). NMT stanowi geometryczny obraz ukształtowania terenu miasta. Natomiast NMPT – stanowi obraz pokrycia miasta z uwzględnieniem zabudowy, zieleni oraz innych elementów 3D.

O ile BDOT10 jest bazą danych o szczegółowo zaprojektowanej semantyce, to NMPT i NMT są zbiorami, które obrazują trzeci wymiar w sposób stricte geometryczny. NMPT i NMT są udostępniane w formacie ESRI ASCII – jako chmura punktów 3D. Tracimy możli-

¹¹ W załącznikach do rozporządzenia MSWiA przedstawiona jest również struktura Bazy danych obiektów ogólnogeograficznych (BDOO), która powstała w wyniku generalizacji danych BDOT10k.

¹² Co jednak nie dla wszystkich budynków.

¹³ NMPT (Numeryczny Model Pokrycia Terenu) – DSM (Digital Surface Model).

¹⁴ NMT (Numeryczny Model Terenu) – DTM (Digital Terrain Model).

wość rozpoznawania obiektów topograficznych. Zyskujemy jednak bardzo dokładną wiedzę o geometrii 3D miasta, której BDOT10k nie obejmuje. Łącznikiem danych są ortofotomapy, które w ISOK zostały opracowane dla wszystkich większych miast w Polsce w wysokiej dokładności (rozmiar piksela terenowego 10cm). Synteza NMPT, NMT oraz ortofotomap daje możliwość wizualizacji 3D miasta (ryc. 2). Daje też podstawy dla tworzenia modeli 3D w standardzie LoD1.

5. ATRYBUTY WYSOKOŚCI BUDYNKÓW

Model 3D w standardzie LoD1 obejmuje jedynie bryły budynków. Pomijana jest geometria dachów, akcentów wieżowych oraz innych elementów architektonicznych. Podstawą dla konstrukcji LoD1 jest obliczenie atrybutów wysokościowych. Im te parametry będą precyzyjniej obliczane, tym model LoD1 będzie bardziej zbliżony do rzeczywistej trójwymiarowej struktury miasta. BDOT10k zawiera informację o ilości kondygnacji. Wykorzystanie tej wiedzy jest najprostszym sposobem dla określania trzeciego wymiaru miasta [por. 4, s. 66]. Jednak modele budowane tylko na tej bazie są bardzo niedokładne, bo: a) wysokość kondygnacji może się bardzo różnić¹⁵, b) pomijamy ukształtowanie terenu, c) nie wszystkie obiekty w bazie BDOT10k mają wyznaczoną liczbę kondygnacji¹⁶.

W omawianych badaniach przyjęto założenie kalkulacji atrybutów wysokości budynków z użyciem modeli NMPT i NMT, podobnie jak w brytyjskim OS MasterMap Topography Layer [16]. W dokumentacji standardu OS MasterMap nie ma jednak informacji o zasadzie obliczania atrybutów wysokości, a wiemy jedynie, że zastosowano odpowiednie algorytmy matematyczne [16, s. 63]. W badaniach przedstawionych w tym artykule dla określania wysokości kluczowe jest *de facto* wyznaczenie dwóch wartości liczbowych dla każdego z budynków: a) rzędnej posadowienia, b) wysokości obiektu nad terenem.

W omawianej metodzie, analizie są poddawane wszystkie punkty NMPT i NMT znajdujące się wewnątrz obrysu budynku. Jest ich bardzo wiele – dla przykładu: w obrysie Katedry św. Jakuba w Szczecinie (Polska) mieści się: 2940 punktów NMT obrazujących rzeźbę terenu pod obiektem oraz 11782 punkty NMPT obrazujące bryłę obiektu. Za rzędną posadowienia jest przyjmowany najniższy punkt NMT. Wysokość budynku jest obliczana w dwóch wariantach – a) **H-mid**: jako różnica uśrednionej wysokości NMPT i rzędnej posadowienia obiektu, lub b) **H-max**: jako różnica maksymalnej wysokości NMPT i rzędnej posadowienia. Zasadę przedstawiono na schemacie (ryc. 3). Wariant **H-mid** jest najbardziej miarodajny dla tworzenia modeli miasta 3D w standardzie LoD1.

6. REZULTATY

Rezultatem prezentowanych w artykule badań jest program: BDOT10k 3D-CAD EXPLORER [3]. Został on opracowany przez autora w języku C++. Wersja beta v.0.1 powstała we wrześniu 2017 roku (ryc. 4). Kluczowym wyzwaniem okazało się zapewnienie możliwości przetwarzania dużych zasobów danych. W analizie funkcjonalności programu użyto danych dla 23 dużych miast w Polsce¹⁷. Łączna wielkość danych to ok. 4TB. Większość stanowią dane LiDAR, które na obecnym etapie nie są jeszcze wykorzystane. Po ich odrzuceniu pozostaje: a) 339GB ortofotomap, b) 161GB NMPT, c) 49GB NMT, d) 7GB danych BDOT10k. W analizowanym zasobie jest: 1151 plików GeoTIFF oraz 1256 plików NMPT i 1256 plików NMT. BDOT10k to 2786 plików XML. Łącznie zastosowany w przedstawionych badaniach zasób danych (z pominięciem plików *.LAS / LiDAR) obejmuje 6431 plików (ok. 0,6TB).

¹⁵ Wysokość brutto kondygnacji w budownictwie z wielkiej płyty 2.8m, w kamienicach przedzwonionych 3,5 do 4,5m; w obiektach przemysłowych obiekt jednokondygnacyjny może mierzyć 20-30m, natomiast w przypadku obiektów sakralnych parametr ilość kondygnacji niemiarodajny.

¹⁶ Dotyczy to obiektów m.in. obiektów sakralnych.

¹⁷ Białystok, Gdańsk, Gdynia, Grudziądz, J. Góra, Koszalin, Kraków, Łódź, Lublin, Nowy Sącz, Poznań, Przemysł, Rzeszów, Słupsk, Sopot, Suwałki, Świnoujście, Szczecin, Tarnów, Toruń, Warszawa, Wrocław, Zamość.

BDOT10k 3D-CAD EXPLORER wprowadza nowe formaty zapisu danych dla NMPT, NMT i BDOT10k. Dane skonwertowane do tych formatów są o ok. 50% mniejsze, a ich odczyt jest o ok. 100 razy szybszy. Program umożliwia automatyczne tworzenie modeli 3D LoD1 oraz ich wizualizację. Wynik może być zapisany w formacie CAD (np. DXF), co obejmuje: a) modele LoD1 budynków, a) model rzeźby terenu o zadanej dokładności, oraz c) wektorowe obrysy pozostałych danych BDOT10k osnute w 3D na rzeźbie terenu. Program działa relatywnie szybko. Najdłuższą operacją jest wczytywanie danych. Dla obszaru o powierzchni 100km² na średniej klasy komputerze PC¹⁸ zajmuje to ok. 21s. Proces kalkulacji atrybutów wysokości budynków dla takiego obszaru zajmuje 3-6s – choć analizowanych są tysiące budynków i miliony punktów NMPT/NMT. Wizualizacja wytworzonego modelu miasta w Full HD z cieniem dla 1km² zajmuje 1-2s, a dla obszaru 100km 5-8s.

7. DYSKUSJA I WNIOSKI

Potrzeba uwzględniania trzeciego wymiaru w projektowaniu urbanistycznym jest oczywista. Niezależnie od stosowanych technik warsztatowych: szkicowanie, rysowanie, tworzenie fizycznych makiet, czy też cyfrowych modeli – w każdym przypadku występują uniwersalne problemy i potrzeby: a) dostępność danych pozwalających na zbudowanie modelu, b) dostosowanie parametrów modelu do realizacji określonych celów, oraz c) dostępność narzędzi, które umożliwiłyby realizację tych celów z wykorzystaniem modelu.

Możemy eksplorować wirtualne krajobrazy wielu miast w Google Earth czy w F4map. Dla zastosowań urbanistycznych i analitycznych niewiele jednak z tego faktu wynika. Choć widzimy miasto jak na dłoni, to nie mamy narzędzi, które umożliwiłyby użycie tego zasobu dla potrzeb projektowania. Brak możliwości przeniesienia danych do środowiska, w którym moglibyśmy je odpowiednio przetwarzać niweluje ich znaczenie. Możemy zobaczyć dane, ale nie możemy ich odpowiednio zastosować.

Innym podejściem jest wykorzystanie danych, które zostały zgromadzone i które są dostępne. W takim przypadku narzędzia i metody służące projektowaniu i analizie miasta muszą być dostosowane do możliwości przetwarzania konkretnych typów danych. Dla przykładu – w projekcie 2TaLL [1], poświęconemu badaniu wpływu zabudowy wysokiej na krajobraz miasta, metody VIS i VPS zostały dostosowane do przetwarzania danych CityGML – dla potrzeb analizy miast niemieckich (m.in. Berlina, Frankfurtu, Drezna) [7, 17, 1] oraz do wykorzystania zasobów LiDAR – dla potrzeb analiz miast w Polsce (m.in. Warszawy, Wrocławia, Szczecina) [8, 9, 1].

Prezentowane badania umożliwiają wykorzystanie zasobów dostępnych w Polsce: czyli BDOT10k i LiDAR (oraz ich pochodnych – NMPT i NMT) do automatycznego tworzenia modeli w standardzie CityGML LoD1. Opracowane oprogramowanie BDOT10k 3D-CAD EXPLORER pozwala na automatyczne i bardzo szybkie tworzenie takich modeli oraz na ich konwersję do środowiska CAD (ryc. 5). Modele mogą być zastosowane m.in. do: obrazowania kontekstu przestrzennego w projektach urbanistycznych, analizowania struktury wysokości miasta, czy też badania parametrów urbanistycznych, np. intensywności zabudowy¹⁹. Ponadto w analizach i wizualizacji możemy wykorzystać semantykę BDOT10k i zawarte w tej bazie informacje o funkcji obiektów, podziale na obiekty zabytkowe, kategorie KTŚ i inne (podobnie jak w GIS).

Na gruncie naukowym powstały metody umożliwiające tworzenie modeli 3D także w standardzie LoD2 zakładającym bardziej precyzyjne odwzorowanie brył budynków z uwzględnieniem dachów [6]. Istnieją odpowiednie programy umożliwiające realizację tego

¹⁸ Analizy przeprowadzono na komputerze z procesorem czterordzeniowym i7-3770, 8GB RAM i kartą graficzną NVIDIA GeForce GTX 550 Ti.

¹⁹ Choć geometryczna reprezentacja modelu jest uproszczona, to dane określające kubaturę budynków są wyznaczone bardzo precyzyjnie – jako pochodna analizy DSM i DTM (z uwzględnieniem wszystkich elementów brył architektonicznych).

zadania, jak np. Envi LiDAR, czy też program Building-Reconstruction opracowany w virtualcitySYSTEMS. Jednak rozwiązania te nie gwarantują możliwości w pełni automatycznego budowania modeli. Konieczna jest tu manualna weryfikacja, korekta i uzupełnianie danych, co jest z kolei bardzo czasochłonnym procesem. Istotnym aspektem jest również bardzo wysoki koszt programów. Ponadto, nie zawsze wyższa dokładność modelu jest pożądana. Przykładem, może być metoda negatywów 3D (N3D), mająca na celu generowanie i analizę modeli 3D obrazujących niematerialne przestrzenie pomiędzy budynkami [19, 20]. Bardziej ogólny obraz 3D miasta (LoD1) jest w tym przypadku lepszą podstawą dla aplikacji tej metody. Wraz ze wzrostem dokładności modelu rośnie jego rozmiar i złożoność struktury geometrycznej. Pojawia się też szereg pól dla powstawania bardzo trudnych do wykrycia błędów w strukturze danych.

Istotnym wyzwaniem dla opracowania programu BDOT10k 3D-CAD EXPLORER było efektywne przetwarzanie danych dostępnych w Polsce (NMPT, NMT, ortofotomapy oraz BDOT10k). Interesującą perspektywą rozwoju programu byłoby poszerzenie dostępności danych w formule WMF (Web Mapping Service) – tak by w formie usługi sieciowej w szybkim czasie otrzymać model LoD1 dowolnego fragmentu Polski w formatach CAD (przyjaznym architektom i urbanistom). Technicznie wydaje się to możliwe do wykonania, jednak formalną barierą jest brak upublicznienia odpowiednich zasobów w pełnej formule *open source*.

BIBLIOGRAPHY

- [1] *2TaLL: Application of 3D Virtual City Models in Urban Analyses of Tall Buildings* (2016). Project realized under the Polish-Norwegian Research Program in 2013-2016, by: K. Czyńska, P. Rubinowicz & A. Zwoliński (<http://project2tall.zut.edu.pl/>, access 2017.10.30).
- [2] Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S. & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, pp. 2842-2889; Delft University of Technology, doi:10.3390/ijgi4042842.
- [3] *BDOT10k 3D-CAD EXPLORER v.0.1* (2017). Software by P. Rubinowicz, cooperation M. Berdyszak (beta ver. tutorial: https://www.youtube.com/watch?v=sB_Avequwvs, access 2017.10.30).
- [4] Cisko-Lesicka, U. (2010). Generation of 3D buildings for three-dimensional multiresolution topographic database, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 21, pp. 63-73.
- [5] Cisko-Lesicka, U. (2013). BDOT10k w postaci trójwymiarowej. In R. Olszewski & D. Gotlib, (Eds.), *Rola bazy danych obiektów topograficznych w tworzeniu infrastruktury informacji przestrzennej w Polsce*, (pp. 294-299). Warszawa, GUGiK.
- [6] Cisko-Lesicka, U., Borowiec, N., Marmol, U. & Pyka, K. (2014). Analysis of usefulness of airborne laser scanning for preparation of 3D buildings model consistent with INSPIRE specification, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 26, pp. 39-52.
- [7] Czyńska, K. (2015). Application of Lidar Data and 3D-City Models in Visual Impact Simulations of Tall Buildings, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, pp. 1359-1366, doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1359-2015.
- [8] Czyńska, K. & Rubinowicz, P. (2015). Visual Protection Surface method: Cityscape values in context of tall buildings. In Karimi, K., Vaughan, L., Sailer K., Palaiologou, G., Bolton T. (Eds.), *Proceedings of the 10th International SSS*, pp. 142:1-142:10, London.
- [9] Czyńska, K. & Rubinowicz P. (2017). Sky Tower impact on the landscape of Wrocław – analysing based on the VIS method. *Architectus* 2(50)/2017, pp. 87-98, doi:10.5277/arc170207.
- [10] Chałka, K., Olszewski, R., & Zieliński, J. (2011). Bazy Danych Obiektów Topograficznych i Ogólnogeograficznych – zakres merytoryczny i techniczny opracowywanego projektu rozporządzenia MSWIA, *Roczniki Geomatyki*, Tom IX, Zeszyt 6(50), pp. 90-102.
- [11] Chrobak, T., Łabaj, A. & Bolibok, A. (Eds.) (2014). *Podręcznik dla uczestników szkolenia z możliwości, form i metod zastosowania bazy danych obiektów topograficznych*, Warszawa, GUGiK.
- [12] Gotlib, D. (2013). Model danych TBD/BDOT10k/BDOO. In R. Olszewski, & D. Gotlib (Eds.), *Rola bazy danych obiektów topograficznych w tworzeniu infrastruktury informacji przestrzennej w Polsce*, (pp. 60-73), Warszawa, GUGiK.

- [13] Kolbe, T. H. & Gröger, G. (2003). Towards Unified 3D-City-Models. In *Proc. of ISPRS Commission IV Joint Workshop on Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II*, September 8-9, Stuttgart, Germany.
- [14] Kolbe, T. (2009). Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. In J. Lee & S. Zlatanova (Eds.), *3D Geo-Information Sciences*, (pp. 15-31). Berlin-Heidelberg: Springer.
- [15] *Opis baz danych obiektów topograficznych i ogólnogeograficznych oraz standardy techniczne tworzenia map* (2011). Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r., Dziennik Ustaw 2011 Nr 279, Poz. 1642.
- [16] *Ordnance Survey: OS MasterMap Topography Layer user guide and technical specification v1.13* (2016), (Annexe C – Building Height Attribute, pp. 61-64).
- [17] Rubinowicz, P. & Czyńska, K. (2015). Study of City Landscape Heritage Using Lidar Data and 3d-City Models. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7/W3, pp. 1395-1402, doi:10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-1395-2015.
- [18] Wężyk, P. (Ed.). (2015). *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*, Warszawa, GUGIK.
- [19] Zwoliński A. (2014). Complexity of Public Spaces System Between Key Tall Buildings in City of Szczecin(...) In H.P. Schröcker, & M. Husty (Eds.), *Proceedings of the 16th ICGG*, pp. 175-186. Innsbruck, University Press.
- [20] Zwoliński, A. & Rubinowicz, P. (2016). Analysis and Detection of Public Spaces Beneath Tall Buildings by 3D-Negatives Geometries of Cityscape. In J. Słyk & L. Bezerra (Eds.), *Education for Research, Research for Creativity*, (pp. 162-168), Warsaw, WA-PW.

AUTHOR'S NOTE

Paweł Rubinowicz, PhD architect and assistant professor at West Pomeranian University of Technology in Szczecin (WPUT), Faculty of Civil Engineering and Architecture (Poland). Studied at WPUT and FH Oldenburg (Germany). PhD at Cracow University of Technology in 2011: *Chaos as the higher order in selected trends of contemporary architecture*. Co-author of urban studies for Szczecin, Lublin and Warsaw. Individual exhibitions in 10 cities in Poland. Curator of the Architect's Gallery FORMA in Szczecin. Participant of 2TaLL research project (2013-2016). Author of scientific publications on: application of fractal geometry in architecture and urban design, 3D city modelling, digital analysis and protection of cityscape.

O AUTORZE

Paweł Rubinowicz, dr inż. arch., adiunkt na Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie (ZUT), Wydział Budownictwa i Architektury. Studia na ZUT i na FH Oldenburg (Niemcy). Doktorat na Politechnice Krakowskiej w 2011 roku, pt. *Chaos jako porządek wyższego rzędu w wybranych trendach współczesnej architektury*. Współautor opracowań planistycznych dla Szczecina, Lublina i Warszawy. Indywidualne wystawy w 10 miastach w Polsce. Kurator Galerii Architektów FORMA w Szczecinie. Uczestnik projektu badawczego 2TaLL (2013-2016). Autor publikacji naukowych w dziedzinie zastosowania geometrii fraktalnej w architekturze i urbanistce, tworzenia modeli 3D miast oraz cyfrowej analizy i ochrony wartości krajobrazu miejskiego.

Contact | Kontakt: pawel@rubinowicz.com.pl