

2. 3D MODELING AND DIGITALIZATION IN HERITAGE

Birutė Ruzgienė, Lina Kuklienė, Indrius Kuklys, Dainora Jankauskienė, Mercedes Valiente, Wojciech Matys

2.1. Fundamentals of Cartography and Photogrammetry

Cartographic products in digital public environment can be seen more than ever before. An interactive map product embedded in many digital cartographic systems become ubiquitous. A map is a visual representation of an entire earth area or a part of an area where 3D space, usually is presented on a horizontal plane/ flat 2D surface.

There are several types of surface models: two-dimensional, three-dimensional, four-dimensional, dynamic and even web. The maps show various objects: physical features, roads, topography, population, climate changes, natural resources, economic activities, small architectural monuments, political boundaries, etc.

Cartography is the art and science of graphically representing a geographical area, usually on a map or chart. It may involve the superimposition of political, cultural or other nongeographical objects onto the representation of a geographical area. Modern cartography largely involves the use of aerial and satellite photographs as a base for any desired map or chart. The procedures for translating photographic data into maps are governed by the principles of photogrammetry and yield a degree of accuracy previously unattainable. The remarkable improvements in satellite photography since the late 20th century and the general availability on the Internet of satellite images have made possible the creation of *Google Earth* and other databases that are widely available online (WEB-1). In addition, the use of geographic information system (GIS) has been indispensable in expanding the scope of cartographic subjects. Cartography is related to three assumptions: 1. Cartography is relevant assuring the quality of geospatial information; 2. Cartography is attractive constructing interactive, collaborative maps; 3. Cartography is modern generating 3D and 4D real-time models (WEB-2). Fig. 2.1 shows example of modern cartography application.



FIG. 2.1. Modern cartography: 2D, 3D images and photograph of sculptures – park in Klaipeda city (Source: WEB-3)

Photogrammetry is the science of making reliable measurements by the use of photographs and especially aerial photographs (as in surveying). The definition of photogrammetry can be extended: photogrammetry is the art, science and technology of obtaining reliable information about physical objects and the environment through the process of recording, measuring and interpreting photographic images and patterns of electromagnetic radiant imagery and other phenomena. The main product created by the use of photogrammetry science is the orthophoto map. An orthophoto (also known as an orthophotograph) is an aerial image that has been geometrically corrected (ortho rectified) so that the image is uniform from edge to edge. Orthophotos are corrected to remove terrain effects (what happens when you convert a 3D real surface into a 2D product) and distortions that result from the camera's lens and the angle the photo was taken from the plane.



FIG. 2.2. Fragment of orthophoto map: Klaipeda city (Source: WEB-5)

The goal of ortho rectification is to create an image where distance measurements are the same across the entire image. A digital orthophoto map typically has a geographic reference to the Earth, such as a UTM or State Plane coordinates, so each pixel in the photo can be accurately located (Manual, 2004; Linder, 2009; WEB-4). Many of the digital aerial photographs available through GIS are orthophotos. Fig. 2.2 shows rectified aerial photography: fragment of orthophoto map of Klaipeda city.

2.2. Generation of spatial models of small architectural objects located in public space

The mapping of protected cultural heritage objects is relevant today and in the future. The idea is to commemorate cultural heritage objects, protecting them from degradation, to ensure the preservation of information, to increase the relevance and visibility, and to realize more convenient access to geoinformation. Various institutions are involved with the common goal of promoting cultural heritage to Lithuanian and foreign residents by using information technologies.

Digital maps, constructed by the use of various technologies (e.g., TLS) are becoming public and accessible at the website to anyone who is interested. Terrestrial laser scanning (TLS) is referred to terrestrial Light Detection and Ranging (LiDAR) technology, acquiring XYZ coordinates of numerous points on surfaces by emitting laser pulses toward these points and measuring the distance from the device to the target. Software packages are generally required for managing and analyzing the data because of the large amount of data stored in a TLS point cloud. A point cloud may be converted into a grid DEM to facilitate topographic mapping and spatial analyses. TLS instruments are commonly of three categories based on the distance the laser light can travel to record a point in a field-of-view: short, medium and long-range scanners. A potential limitation to TLS approaches is the weight of the instrument (>20 kg including the battery) length (Ruzgienė, Berteška *et al.* 2015, Kraus, 2007).

2.2.1. The instruments and technologies

The new multi-station *Leica Nova MS60* enables surveying with one instrument, combines fast 3D laser-scanning capabilities, GPS/ GNSS connectivity and digital imaging (WEB-6). The *Nova MS60* features includes a fast laser speed of up to 30,000 points per second, optimized scan area definitions, adapted scan managements, and an improved scanning path for zenith scans. Measurement professionals can make decisions directly in the field, performing point-cloud analysis such as flatness analysis, etc. Scan data of the *Nova MS60* can graphically show in real time, collecting the points positions in the field.

Laser scanner *Stonex X300* made in Italy is a 3D scanner designed to deliver effective results every day, on any project. This scanner has a dedicated line of accessories to work better, scanning process is controlled by smartphone or tablet, allows to work where others fail, regardless of dust, humidity, heat or bumps (WEB-7).

3D Reshaper is a scanner software dedicated to surveyors and can execute processing of point cloud (manual and automatic filters, merge, color), 3D meshing (smoothing, holes filling, borders improvement), 3D inspection of data, polylines, CAD surfaces, to compute a digital surface model, longitudinal profiles, classify points, etc. terrestrial scanning (WEB-8).

JRC 3D Reconstructor is the multi-platform powerful software to handle LiDAR point cloud: import, process and manage terrestrial scanning data, handheld, mobile, airborne laser scanner and easily integrate UAV and 3D imaging data in a single platform.

For realization of 3D modelling of architectural small objects located in cities/public space, apply up-to-date mapping/ geoinformation technologies:

- Remote Sensing (RS) – imagery from satellites in *Google Earth* (simultaneously *Street View*) application usable for overview general situation of study object (WEB-3).
- Terrestrial Lidar Scanning (TLS) – the scanning sculptures with laser scanners (*Nova MS60*, *Stonex X300*), 3D modelling by the use of software (*3D Reshaper*, *JRC 3D Reconstructor*). Laser scanning speeds up workflows by combining technologies (imaging, scanning capabilities and GNSS connectivity) in this all-in-one instrument. With the use of specialized software, all measurement and scanning data can be visualized in 3D environment for quality and completeness corrections (WEB-9).
- Geoinformation Systems (GIS) – the use of software application (*ArcGIS*) for thematic map construction, classification of topographic elements and coordinates from other data sources, e.g., city municipality.
- Aerial Photogrammetry – the use of orthophoto map for presentation of sculptures positions and infrastructure of cities parks for public needs.

2.2.2. The results of sculptures mapping

The sculptures park located in Klaipeda city, Lithuania is the open-air art gallery with 116 works of art of various thematic and 6 historical objects, situated on area of 10 ha. This object was selected because of great significance as nature and art monument combining historical memorial legacy, modern decorative sculptures and the use of public space for cultural events. The mapping of sculpture park objects is important activity for obtaining information that can be used for construction state-of-the-art data base, disseminating for everyone's needs by the use of smart devices.

Data acquisition and processing. 116 sculptures and 6 historical objects were scanned by the use of terrestrial scanning technology (TLS) with laser scanner *Leica Nova MS60*. The photographs of all sculptures by the use of high-resolution camera

were gained from four stations (at the sides, front, rear of the sculpture) and sometimes from additional stations depending on the complexity of the sculpture. These photographs were used for 3D modelling. Software *3D Reshaper* was applied for 3D modelling of all sculptures in a virtual environment (WEB-8). The virtual geoinformation data base can be taken from the platforms of <http://www.mlimuziejus.lt/park> (WEB-10) and can be used by everyone. 3D modelling was fulfilled step by step: importation of points cloud gained from laser scanning of sculptures; TIN creation, filling of gaps; creating real image; shading of invisible areas, generation of three-dimension model. The example of 3D modelled sculpture named “Bangpūtys” by software *3D Reshaper* is presented in Figures 2.3 and 2.4.

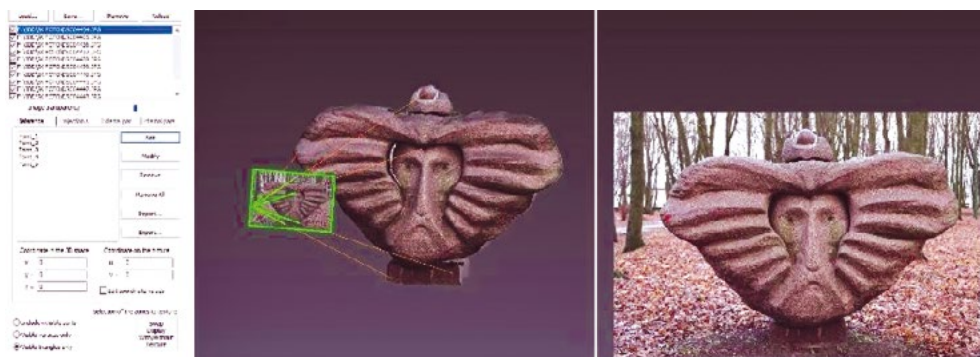


FIG. 2.3. Extraction of a real image model: orientation of sculpture “Bangpūtys” model, used 4 photographs (Source: own elaboration, 2020)



FIG. 2.4. 3D model of sculpture „Bangpūtys“ generated from TLS data (Source: own elaboration, 2020)

Thematic map construction. The spatial data set was created with software application *ArcGIS*. The orthophoto map of study area and topographic survey with sculptures planimetric coordinates was provided by Klaipeda city municipality. These data were imported in *ArcGIS* overlaying positions of sculptures onto the orthophoto map and constructed map (Fig. 2.5).

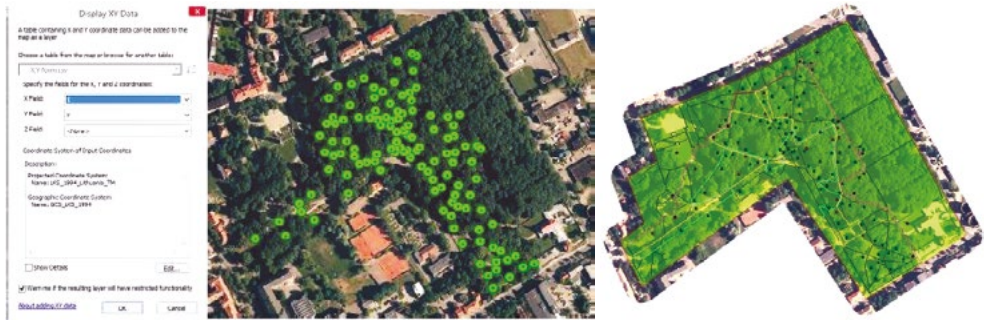


FIG. 2.5. Sculptures position onto orthophoto map and the map of sculpture park constructed by the use of GIS technology (Source: own elaboration, 2020)

Another object of study – 3D modelling of architectural heritage objects “Baubliai”, located in Dionizo Poskos antiquities field museum, Bijotų village, Lithuania have been performed. Oaks, that are about a thousand years old, are called “Baubliai” (Baubles). The museum shed oak stalk with straw roof, coated by ribbons cementitious foundations; there writer and historian, enlightener of culture D. Poška rested and worked at the end of XIX century. Baubles, has been declared as important historical, cultural, ancient monument of Lithuanian culture with no analogue. Nowadays Baubles are covered by glass roof.

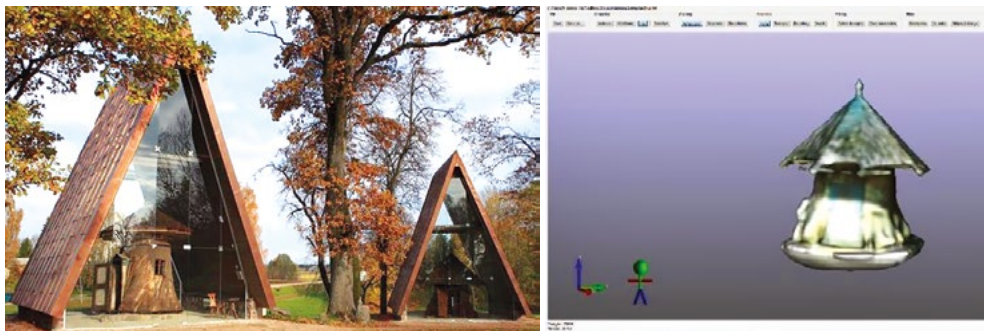


FIG. 2.6. The field museum with cultural monuments and generated 3D model of Bauble by the use of TLS technology (Source: own elaboration, 2020)

Two Baubles were scanned with laser scanner *Stonex X300* using TLS technology. Because both Baubles were under a closed glass and enclosure with a roof, the scanning procedure becomes complicated. For both Baubles, due to the trapezoidal roof, it was decided to measure from six different positions outside and also inside with scanning angle 75–90 angles. Measuring conditions were more difficult concerning of the tapering roof, therefore the laser scanner had to be raised higher. Due to the difficult measurement conditions mentioned above, the measurements took five hours. 3D modelling of Baubles was performed by the use of software *JRC 3D Reconstructor* processing, unifying, correcting of the point cloud. Generated 3D model of one Bauble is presented in Figure 2.6.

2.3. Classic methods of 3D modelling

Understandably, new technologies are replacing the old ways of 3D modelling cultural heritage. However, one cannot forget about the classic methods of visualizing objects. When constructing them, we base methods of measurement: traditional (manual meters) and modern (electronic meters). However, when creating them, an equally important or even more important role is played by the “feeling” of the object by the author of the model, his/her knowledge, experience and imagination. The author decides about the hierarchy of importance of the elements included in the object. Some of them are detailed, others are blurred or even deleted. That kind of 3D modelling, unlike digital methods, is heavily influenced by subjectivity and humanity.

2.3.1. 3D drawings made by hand

This kind of 3D modelling is usually faster and simpler than others, and also can be created always and everywhere.

Two methods are used to create 3D drawings: parallel projections and perspective projections (Ducki, Rokosza, Rylke, Skalski, 2003).

In the first method (simpler), lines are projected in parallel along three different axes (x , y , z) with different angles in conjunction with a horizontal baseline. We distinguish isometric projection, elevation oblique and axonometric projection/plan oblique.

This type of 3D drawing is easily understood even by laypersons and can be constructed at all scales. It is often used both to present urban and planning layouts as well as small architectural spaces (gardens, atriums, etc.) (Fig. 2.7).

Perspective projections are characterized by the parallel lines convergence at the vanishing points usually placed on the horizon line (the viewer’s eye level). The most used are one-point and two-point perspectives.

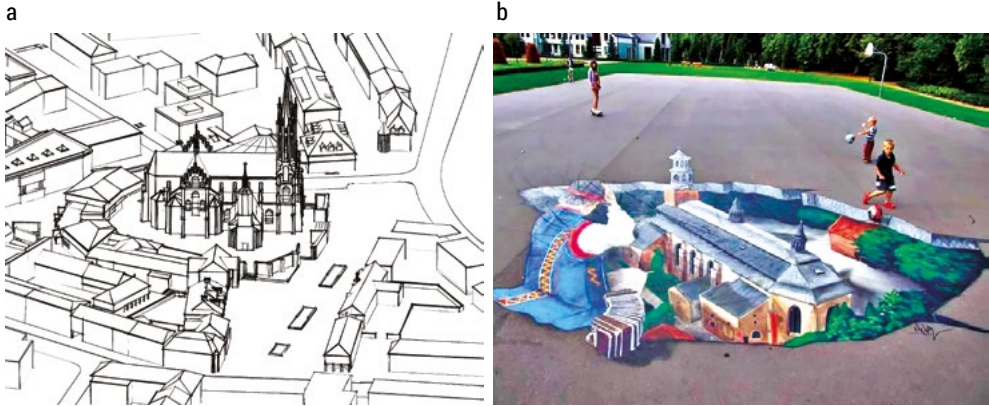


FIG. 2.7. Examples of the use of parallel projection (Source: a – axonometric projection of the center of Białystok, graphics by Wojciech Matys; b – 3D street – art by Marek Kierklo, Kartuzy, photo by Bartłomiej Gruby, WEB – 11)

These kinds of 3D drawings are usually created in two main types of perspective: linear perspective and atmospheric perspective.

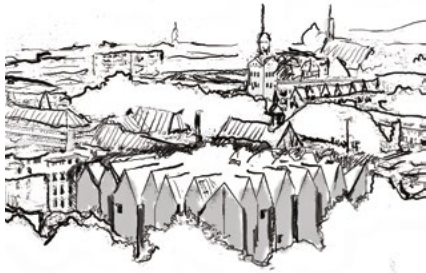
Linear perspective has all converging lines which seem to move towards a common vanishing point (or points) placed on an eye-level of the viewer's line (horizon line) (Fig. 2.8).



FIG. 2.8. Linear perspective projection – examples (Source: a – graphics by Marta Baum, b – graphics by Wojciech Matys)

The atmospheric perspective projection is based on landscape painting. The space shown is not “constructed” (Wilk, 2014). It is often impossible to determine the location of vanishing points and depth is shown by varying object sizes (larger seem closer, smaller farther) (Fig. 2.9).

a



b



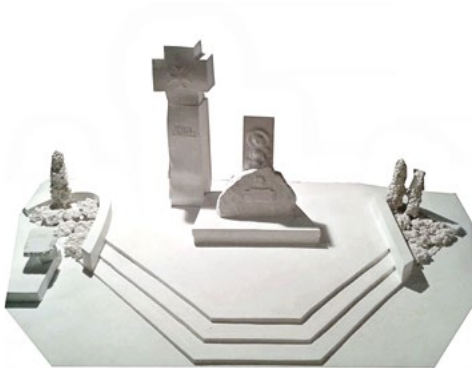
FIG. 2.9. Atmospheric perspective projection – examples (Source: a – graphics by Wojciech Matys b – graphics by Marta Baum)

2.3.2. Manual models

A model is a conventional three-dimensional “image” of space made in a given scale or in appropriate proportions. The conventionality of the model is achieved, among others, thanks to the use of homogeneous materials, the use of non-obvious, undefined elements, or simplification of the presented spaces.

This kind of 3D modelling is often used when creating models of sculptural objects or also tactile models intended mainly for the blind (Fig. 2.10).

a



b



FIG. 2.10. Examples of the manual models (Source: a – Manual model by Jerzy Grygorczuk, photo by W. Matys, b – photo by M. Kłopotowski)

Model views are digitized by photos. The same is true of hand-drawn drawings that are also scanned (also by large-format scanners). Digitized objects can be used in visualizations using photo processing software.

2.4. Drawing by computer is a different way to draw

The importance of Architectural Drawing as a means of communication between professionals is unquestionable. That is why one of the essential objectives of technical schools in the Plan of Study, is to provide students with a means of communication that is essential for their future professional activities. What is clear is that virtually no important architect has dispensed with the intermediate language that is the graphical representation. Therefore, it is safe to say that the graphic medium, architectural drawing, really offers the greatest potential for the study of the entire set of issues related to the architectural discipline. At the same time it is taught, or at least that has been the focus throughout our years of teaching at this school, the precise rules to master the different techniques, both conventional and newest, those have been used or are used in Architectural Drawing execution and knowledge necessary for their restructuring.

Nowadays not only conventional techniques are taught, but attempting, at least experimentally, to show each student more innovative ways in Architectural Representation. This is the case of the use of computers, and the new language BIM.

New ways of drawing the BIM (Building Information Modelling – modelling building information). For BIM applications, with programs such as Revit, architecture is more than a three-dimensional model with different representations; it is not enough to represent the building in a realistic way, it is a simulator of buildings under real conditions. Many words have been spent in comparing AutoCAD – AutoCAD Architecture – Revit, but if we do, we will always fall into the simplistic comparison as tools to represent reality, forgetting the most important thing of Revit, which is to simulate reality. Simulating reality can make better choices in the design phase, as well as provide many of the problems that arise in the life cycle of the building.

The computer drawing was projected in 2D and 3D, but with BIM new concepts were incorporated:

- 4D-BIM: incorporation of the time factor in the project
- 5D-BIM: construction costs related to time and durability of the building
- 6D-BIM: building maintenance throughout its lifetime.

The BIM (Building Information Modeling – modeling building information), is a new revolution as with the advent of computer drawing.

2.4.1. 3D print introduction

A 3D printer is a machine capable of generating print designs in three dimensions and in different materials ranging from mud, dust, some plastics and even metals. The result is being able to create volumetric parts previously designed on a computer.

3D printers use multiple manufacturing technologies and we will try to explain simply how they work. With 3D printers what you do is create an object with its 3 dimensions and this becomes built on layers until the finished desired object.

What a 3D printer really does is to produce a 3D computer design created with a physical 3D model. In other words, if we have designed on your computer, for example a simple cup of coffee (by any CAD program – Computer Aided Design) we can print it in reality through the 3D printer and produce a physical product that would be our own cup of coffee. With this we can generate through physical documents electronic documents. Generally, the materials used to manufacture metal objects can be, nylon, and about 100 different types of materials.

2.4.2. 3D print uses of 3D printers at different sectors: research in the UPM

The models are made with a 3D printer model MARKETBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP 3D PRINTER Fig. 2.11. In the images you can see some examples. In Fig. 2.12. and Fig. 2.13. you can see the models.

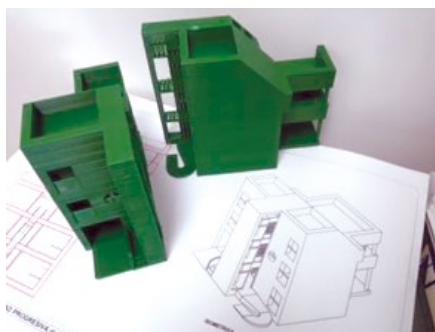
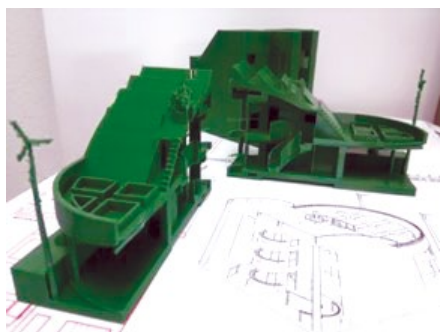


FIG. 2.11. Models were made with a 3D PRINTER MARKETBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP 3D PRINTER (Source: own elaboration, 2020)

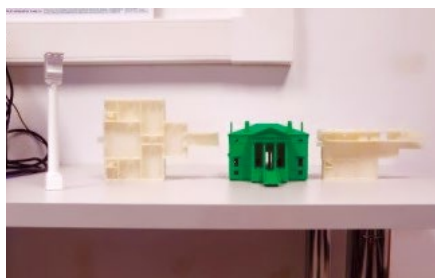


FIG. 2.12. Models were made with a 3D printer MARKETBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP 3D PRINTER PALLADIO HOUSES VILLA CHIERICATI (Source: own elaboration, 2020)



FIG. 2.13. MakerBot Replicator 3D printer (Source: own elaboration, 2020)

For a long time 3D printers have been one of the greatest inventions that has reached its peak in this 21st century, due to a lot of companies that are innovating in their production and in application uses that can be given. The marketplace in 3D printers reveals many different purposes, sizes and prices, opening millions of possibilities for easy production even allows trial and error without excessive costs.

References

1. Ducki, J., Rokosza, J., Rylke, J., Skalski, J. (2003) *Hand Drawing for Landscape Architects (in Polish)*, Warsaw, Publishing House SGGW
2. Kraus, K. 2007. *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin: Walter de Gruyter. 459
3. Linder, W. (2009) *Digital Photogrammetry. A practical Course*, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 33–73, 121–131
4. *Manual of Photogrammetry* (Edited by J. Chris McGlone), (2004) American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA, 959–963
5. Ruzgienė, B.; Berteška, T.; Gečytė, S.; Jakubauskienė, E.; Aksamitauskas, V, Č. 2015. The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. Measurement. Oxford: Elsevier Ltd. Vol. 73, p. 619–627
6. WEB-1: *Cartography*, (2020), [Online] Available from: <https://www.britannica.com/science/cartography> [Accessed: 18.02.2020]
7. WEB-2: *Modern Cartography*, (2020), [Online] Available from: <http://www.gsdi.org/docs/2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf> [Accessed: 18.02.2020]
8. WEB-3: Google Earth, Street View application (2020), [Online] Available from: <https://earth.google.com/web/@55.69191266,21.17681752,11.67728544a,6495.67834488d,35y,0.00000121h,0t,0r/> [Accessed: 20.10.2020]
9. WEB-4: *Geospatial technology*, (2020), [Online] Available from <https://mapasyst.extension.org/what-is-an-orthophoto/> [Accessed: 18.02.2020]
10. WEB-5: Maps.lt (2020), [Online] Available from: <https://beta.maps.lt/?c=2362412.9%2C7500077.6&r=0&s=72223.819286&b=orto/> [Accessed: 20.10.2020]
11. WEB-6: Smart Office, (2020), [Online] Available from: <https://www.soffice.lt/produktas/technine-iranga/tacheometriai/daugiafunkciniai/MS60.html> [Accessed: 10.03.2020]

12. WEB-7: Stonex (2020), [Online] Available from: [https://www.stonex.it/ project/x300-laser-scanner/](https://www.stonex.it/project/x300-laser-scanner/) [Accessed: 15.03.2020]
13. WEB-8: Reshaper 3D, (2020), [Online] Available from: <https://www.3dreshaper.com/en/software-en/download-software/current-release-software> [Accessed: 22.03.2020]
14. WEB-9: Terrestrial Laser Scanning, (2020), [Online] Available from: [https://www.sciencedirect.com/ topics/earth-and-planetary-sciences/terrestrial-laser-scanning](https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/terrestrial-laser-scanning) [Accessed: 20.01.2020]
15. WEB-10: Mažosios Lietuvos istorijos muziejus (2020), [Online] Available from: <http://www.mlimuziejus.lt/park/> [Accessed: 20.10.2020]
16. WEB-11: Kartuzy (2020), [Online] Available from: <https://kartuzy.info/zdjecie/3631957> [Accessed: 20.10.2020]
17. Wilk, S. (2014) *Construction and Design Manual Drawing for Landscape Architects*, Dom Publisher, Berlin

2. PAVELDO SKAITMENINIMAS IR 3D MODELIAVIMAS

*Birutė Ruzgienė, Lina Kuklienė, Indrius Kuklys, Dainora Jankauskienė,
Mercedes Valiente, Wojciech Matys*

2.1. Kartografijos ir fotogrametrijos pagrindai

Skaitmeninėse viešosiose erdvėse kartografinius produktus galima pamatyti dažniau nei bet kada anksčiau. Vis plačiau naudojami interaktyvūs žemėlapiai, kurie gali būti įkeliami ir į skaitmenines kartografines sistemas. Žemėlapis yra tam tikros vietovės vaizdinis modelis, kai 3-jų dimensijų erdvė pateikiama horizontalioje plokštumoje/lygiame 2D paviršiuje. Žemės paviršiaus skaitmeniniai modeliai gali būti dvimačiai (2D), trimačiai (3D), keturmačiai (4D), dinaminiai ir internetiniai. Žemėlapiuose vaizduojami įvairūs objektai ir jų fizinės savybės: kelių tinklas, topografijos elementai, gyventojų tankis, klimato kaita, gamtos išteklių pasiskirstymas, ekonominės veiklos rezultatai, mažosios architektūros paminklai, pasienio ribos ir kt.

Kartografija yra menas ir mokslas tiriantis geografinių vietovių grafinio vaizdavimo žemėlapiuose būdus ir fizinių sąvybių pateikimą diagramose. Į kartografinius vaizdus gali būti įkeliami ir politiniai, kultūriniai ar kiti ne geografiniai objektai. Žemėlapiams sudaryti šiuolaikinėje kartografijoje vis dažniau naudojamos aerofotografijos ir palydovinės (kosminės) nuotraukos. Fotografinių duomenų taikymo žemėlapiams sudaryti procedūros yra reglamentuojamos fotogrametriniais reikalavimais ir gaunamas toks aukštas tikslumas, koks anksčiau nebuvo pasiekiamas. XX amžiaus pabaigoje ženklūs kosminės geodezijos pasiekimai ir kosminių vaizdų įkėlimas į internetinę aplinką sąlygojo internetinės programos *Google Earth* sukūrimą ir kitus duomenų rinkinius, kurie plačiai prieinami internete (WEB-1). Be to, geografinių informacinių sistemų (GIS) naudojimas, išplečiant kartografinių duomenų panaudojimo sritis, tampa būtinybe. Kartografijos mokslas siejamas su šiais apibūdinimais: 1) kartografija yra skirta kokybiškai geoobjektų erdvinei informacijai gauti; 2) kartografija yra puiki priemonė, kuriant interaktyviusius, bendrusius žemėlapius; 3) kartografija yra moderni, generuojant 3D ir 4D modelius realiuoju laiku (WEB-2). 2.1 paveiksle pateikti šiuolaikinės kartografijos produktų pavyzdžiai.



2.1. PAV. Šiuolaikinės kartografijos produktai: 2D, 3D fotografiniai vaizdai ir skulptūrų fonuotruaka – skulptūrų parkas Klaipėdoje (Šaltinis: WEB-3)

Fotogrametrija yra mokslas, nagrinėjantis matavimų fonuotruakose ir aerofonotruakose metodus geometrinei informacijai apie objektus kaupiti. Platesnis fotografavimas – fotogrametrija yra menas, mokslas ir technologija patikimai informacijai apie fizinius objektus ir aplinką gauti, registruojant, matuojant ir interpretuojant fotografinius vaizdus, elektromagnetinę spinduliuotę bei kitus reiškinius. Pagrindinis produktas, sukurtas taikant fotogrametrijos metodus, yra ortofotografinis žemėlapis. Ortofotografija (ortofotografinė nuotrauka) yra geometriškai koreguotas (rektifikuotas), neiškraipytas vietovės fotografinis vaizdas. Ortofotografinio rektifikavimo būdu pašalinami geometriniai iškraipymai, atsiradę dėl reljefo, transformuojant 3D vietovės paviršių į 2D, dėl fotokameros posvyrio ir optinės sistemos netikslumo, dėl centrinės projekcijos įtakos.



2.2. PAV. Ortofotografinio žemėlapis fragmentas: Klaipėda (Šaltinis:WEB-5)

Ortofotografinio rektifikavimo tikslas – sukurti tokį fotografinį vaizdą, kurio visame plote mastelis būtų pastovus dydis. Skaitmeninis ortofotografinis žemėlapis yra susietas su geografine (referencine) koordinacių sistema – UTM ar stačiakampėmis koordinatėmis, todėl fotografinio vaizdo kiekvieno pikselio padėtys tiksliai nustatomos (Manual, 2004; Linder, 2009; WEB-4). Daugelis aerofotonuotraukų, saugomų geoinformacinėse sistemose (GIS) yra ortofotografinės nuotraukos. 2.2 paveiksle pateikta rektifikuota aerofotonuotrauka – Klaipėdos miesto ortofotografinio žemėlapio fragmentas.

2.2. Mažosios architektūros objektų, esančių viešojoje erdvėje, erdvinių modelių generavimas

Saugomų kultūros paveldo objektų kartografavimas yra aktualus ir šiandien, ir ateityje. Pagrindiniai kartografavimo tikslai: įamžinti kultūros paveldo objektus, apsaugant juos nuo sunykimo, užtikrinti informacijos išsaugojimą, didinti svarbos supratimą ir matomumą bei užtikrinti patogią prieigą prie geoinformacinių duomenų.

Įvairios institucijos yra išitraukusios į bendro tikslo realizavimą – naudojant informacines technologijas, skleisti informaciją apie kultūros paveldo išsaugojimą Lietuvos ir užsienio gyventojams.

Skaitmeniniai žemėlapiai, sukurti taikant įvairias technologijas (pvz., antžeminį lazerinį skenavimą), vis labiau tampa vieši ir prieinami internetinėse svetainėse visiems, kurie domisi kultūros objektais. Antžeminis lazerinis skenavimas TLS (Terrestrial Laser Scanning) yra susijęs su šviesos spindulio aptikimo ir atstumų matavimo LiDAR (Light Detection and Ranging) technologija. Nustatoma didelio kiekio taškų planimetrinės koordinatės ir aukščiai (X,Y ir Z), skleidžiant lazerio impulsus šių taškų link ir matuojant atstumą nuo prietaiso iki taikinio. TLS taškų debesis apima labai didelį kiekį duomenų, todėl reikalinga speciali programinė įranga duomenims valdyti ir analizuoti. Taškų debesis gali būti konvertuojamas į reljefo skaitmeninį modelį (DEM) tankaus tinklelio forma ir taip palengvinamas topografinis kartografavimas bei erdvinė analizė. Atsižvelgiant į atstumą, kurį lazerio spindulys gali pasiekti, TLS įranga skirstoma į tris kategorijas: trumpojo, vidutinio ir tolmojo nuotolio skeneriai. TLS technologijos taikymo trūkumas yra pakankamai didelis įrangos svoris (su akumuliatoriumi sveria daugiau nei 20 kg) (Ruzgienė, Berteška *et al.* 2015, Kraus, 2007).

2.2.1. Instrumentai ir technologijos

Naujoji daugiafunkcinė lazerinio skenavimo stotis *Nova MS60*, Leica leidžia atlikti matavimus vienu instrumento pastatymu, skenavimo procesas yra pakankamai greitas, galimas GPS/ GNSS ryšys ir skaitmeninio vaizdo gavimas (WEB-6). Lazerinio

skenerio *Nova MS60* pagrindinės savybės: skenavimo greitis siekia iki 30,000 taškų per sekundę, optimizuotai apibrėžimas skenavimo plotas, automatizuotas skenavimo proceso valdymas, patobulintas skenavimo procesas zenito kryptimi. Matuotojai gali priimti sprendimus tiesiogiai lauke, atlikdami taškų debesies ar reljefo analizę. Nustačius taškų padėtis vietovėje, skenavimo *Nova MS60* duomenys pateikiami grafiškai realiuoju laiku.

Italijoje pagamintas lazerinis skeneris *Stonex X300* teikia 3D duomenis, skenavimo rezultatai gaunami efektyviai ir tinkami bet kokiam projektui realizuoti. Šis skeneris turi specialius priedus matavimo procesams pagerinti, prietaisas valdomas išmaniuoju telefonu ar planšetiniu kompiuteriu, galima dirbti įvairiomis sąlygomis, atsparus dulkių, drėgmės, šilumos ar smūgių poveikiams (WEB-7).

3D Reshaper yra skenavimo duomenų apdorojimo programinė įranga, kuria galima atlikti taškų debesies rankinį ir automatinį filtravimą, duomenų apjungimą bei spalvinį išlyginimą, 3D tinklo kūrimą, paviršių glotninimą, tarpų užpildymą, kraštų sujungimą, duomenų tikrinimą; sukurti skaitmeninį paviršiaus modelį (DSM), išbraižyti išilginius profilius, klasifikuoti taškus ir kt (WEB-8).

JRC 3D Reconstructor yra daugialypė galinga programinė įranga, skirta LiDAR taškų debesims apdoroti. Programa dirba su duomenimis ir fotografiniais vaizdais gautais iš įvairių šaltinių: antžeminių, rankinių, mobiliųjų skenerių, lazerinio skenavimo iš oro, bepilotės skraidyklės UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), kitos aerofotografavimo įrangos.

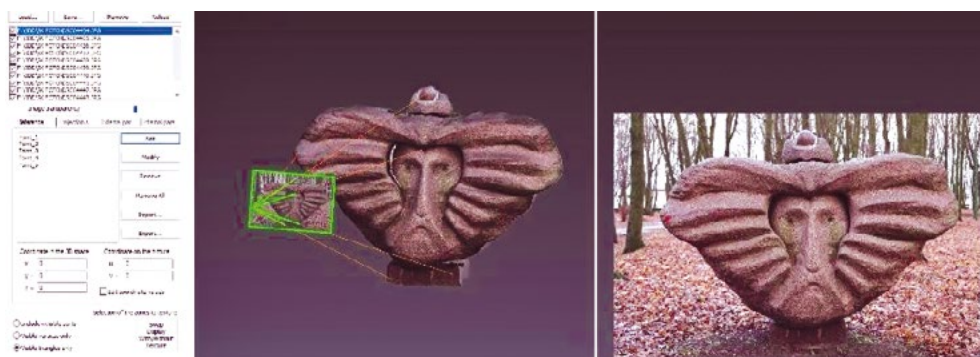
Miestų parkuose ar kitose viešosiose erdvėse esančių mažų architektūrinių objektų 3D modeliavimo realizavimui taikomos šios šiuolaikinės kartografavimo bei geoinformacinės technologijos:

- Nuotoliniai tyrimai RS (Remote Sensing). Naudojantis internetinėje aplinkoje *Google Earth* teikiamomis kosminėmis/ palydovinėmis nuotraukomis ir *Street View* funkcija apžvelgiama tiriamojo objekto lokacija bei analizuojama aplinka (WEB-3);
- Antžeminis lazerinis skenavimas (TLS). Architektūriniai maži objektai (skulptūros) skenuojami antžeminiiais lazeriniais skeneriais (*Nova MS60* ar *Stonex X300*), 3D modeliavimas atliekamas specialiomis programinėmis sistemomis (*3D Reshaper* ar *JRC 3D Reconstructor*). Skenavimo procesas vyksta greitai, derinamos vaizdo gavimo, skenavimo galimybių ir GNSS ryšio funkcijos. Naudojantis programinėmis sistemomis, visi matavimo ir nuskaitymo duomenys vizualizuojami 3D aplinkoje ir taip gaunami kokybiški ir išsamūs duomenys (WEB-9).
- Geoinformacinės sistemos (GIS). Programine įranga (*ArcGIS*) konstruojami teminiai žemėlapiai, klasifikuojami topografiniai elementai, objektų koordinatės gali būti gaunamos iš įvairių institucijų, pvz., miesto savivaldybės.
- Aerofotogrametrija. Skulptūrų padėtys ir miesto parkų infrastruktūra pateikiama ortofotografiniame žemėlapyje ir pristatoma visuomenės poreikiams.

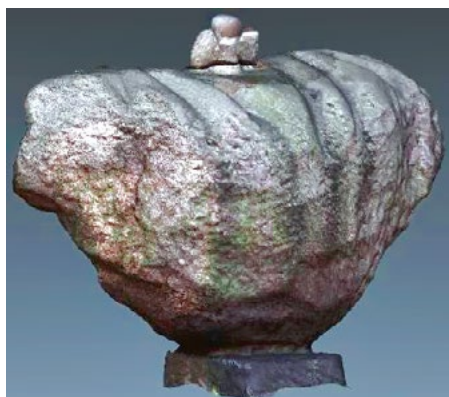
2.2.2. Skulptūrų kartografavimo rezultatai

Skulptūrų parkas, esantis Klaipėdos mieste, yra 10 ha ploto meno galerija (objektas) po atviru dangumi. Galerijoje yra 116 įvairių teminių ir 6-ių istorinių objektų meno kūrinį. Šis objektas – tai reikšmingas gamtos ir meno paminklas, jungiantis istorinį memorialinį palikimą, šiuolaikines dekoratyvines skulptūras ir viešosios erdvės naudojimą kultūriniais renginiais. Skulptūrų parko objektų kartografavimas yra svarbi veikla, siekiant gauti informaciją, kuri naudojama moderniam duomenų rinkiniui kurti bei išmaniaisiais įrenginiais skleisti kiekvieno asmens poreikiams.

Duomenų rinkimas ir apdorojimas. Taikant antžeminę lazerinę skenavimo technologiją (TLS), 116 skulptūrų ir 6 istoriniai objektai nuskenuoti lazeriniu skeneriu *Nova MS60*, Leica. Be to, didelės raiškos fotokamera visos skulptūros nufotografuotos iš keturių stočių (iš skulptūrų šoninės dalies, priekio, galo) ir iš papildomų stočių, atsižvelgiant į skulptūros konfigūraciją. Gautosios fonuotruokos, kaip papildoma vizualinė informacija, naudojamos skulptūroms 3D modeliuoti. Visų skulptūrų 3D modeliai sukurti programine sistema *3Dreshaper* ir pateikti virtualioje aplinkoje (WEB-8). Ši virtualųjų geoinformacinių duomenų rinkinį galima rasti ir naudotis be apribojimų www.regia.lt arba www.mlim.lt platformose (WEB-10). Skulptūrų modeliavimas atliktas šiais etapais: importuojamas lazerinio skenavimo taškų debesis, kuriamas tankus trianguliacijos tinklas (TIN), užpildomi tarpai, pateikiamas realusis vaizdas, šešėliuojamos nematomos sritys, generuojamas trijų dimensijų modelis. Skulptūros „Bangpūtys“ modeliavimo programine sistema *3DReshaper* rezultatai pateikti 2.3 ir 2.4 paveiksluose.



2.3. PAV. Realus vaizdo modelis: skulptūros „Bangpūtys“ orientavimas pagal 4 fonuotruokas (Šaltinis: sukurta autoriu, 2020)



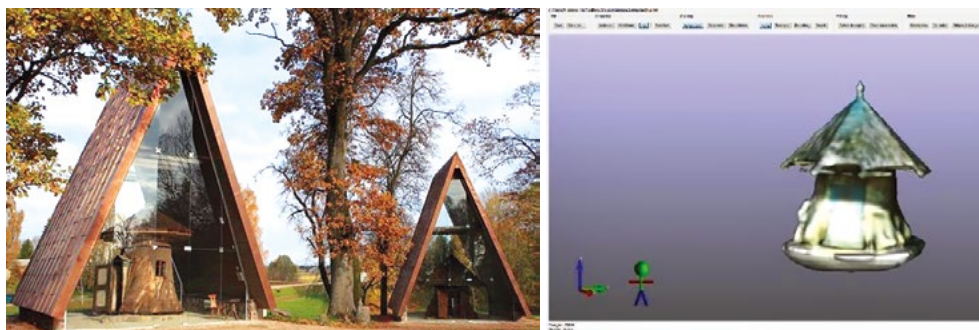
2.4. PAV. Skulptūros „Bangpūtys“ 3D modelis sugeneruotas pagal TLS duomenis (Šaltinis: sukurta autorių, 2020)

Teminio žemėlapio kūrimas. *ArcGIS* programine įranga kuriamas erdviųjų duomenų rinkinys. Skulptūrų parko ortofotografinis žemėlapis ir topografiniai duomenys (planimetrinių koordinatijų rinkinys) gauti iš Klaipėdos miesto savivaldybės. Šie duomenys importuoti į GIS programinę sistemą ir skulptūrų padėtyms rodomos ortofotografiniame žemėlapyje. Sukurtasis teminis žemėlapis pateiktas 2.5 pav.



2.5. PAV. Skulptūrų padėtyms ortofotografiniame žemėlapyje ir skulptūrų parko žemėlapis sukurtas, naudojant GIS technologiją (Šaltinis: sukurta autorių, 2020)

Kitas skulptūrų 3D modeliavimo objektas – architektūrinis paveldas „Baubliai“, esantis Dionio Poškos lauko muziejuje Bijotų kaime. Šioje vietovėje XIX a. pabaigoje išsėjosi ir dirbo rašytojas ir istorikas, kultūros šviesuolis D. Poška. Ažuolai, kuriems maždaug tūkstantis metų, vadinami Baubliais. Muziejuje eksponuotas ažuolo kamienas su šiaudiniu juosteliniu stogu ir cementiniais pamatais. Baubliai, paskelbti reikšmingu istorinio, kultūrinio, antikinio Lietuvos kultūros paminklu, neturinčiu analogo. Siekiant apsaugoti Baublius, jie yra uždengti stikliniais gaubtais.



2.6. PAV. Kultūros paminklai lauko muziejuje ir vieno Baublio sugeneruotas 3D modelis pagal taikytos TLS technologijos duomenis (Šaltinis: sukurta autorių, 2020)

Du Baubliai, taikant TLS technologiją, nuskenuoti lazeriniu skeneriu *Stonex X300*. Kadangi abu Baubliai apgaubti uždaru stikliniu stogeliu, skenavimo procedūra tampa sudėtingesnė. Dėl trapecijos formos stogo abu Baubliai nuskenuoti iš šešių skirtingų stočių, iš išorinės ir vidinės pusės, skenavimo kampų 75° – 90° . Darbą stotyje apsunkino siaurėjančio stogo konstrukcija, todėl skenerį reikėjo pakelti aukščiau. Dėl minėtų darbo sąlygų skenavimo procesas užruko ilgiau – apie penkias valandas. Programine sistema *JRC 3D Re-constructor* atliktas Baublių 3D skenavimo duomenų apdorojimas, taškų debesies koregavimas, glotninimas ir modeliavimas. 2.6 paveiksle pateiktas lauko muziejaus objektų fotografinis vaizdas ir sugeneruotas vieno Baublio 3D modelis.

2.3. 3D modeliavimo klasikiniai metodai

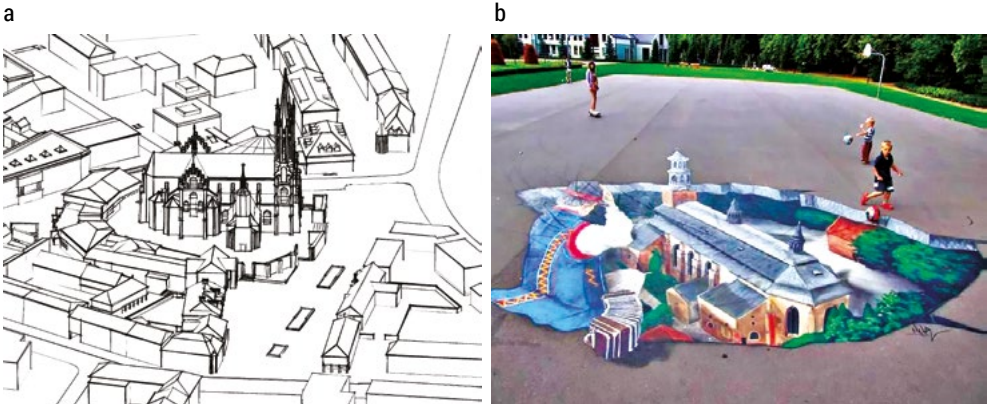
Be abejonės, naujos technologijos keičia senus kultūros paveldo objektų 3D modeliavimo būdus. Tačiau negalima pamiršti ir klasikinių objektų atvaizdavimo (vizualizacijos bei modelių kūrimo) metodų. Toks modeliavimas atliekamas remiantis matavimų rezultatais. Taikomi šie matavimų metodai: tradiciniai-rankiniai ir šiuolaikiniai-elektroniniai. Kuriant modelius klasikiniu būdu, pagrindinis vaidmuo tenka modelio sudarytojui, svarbios yra jo žinios, patirtis ir vaizduotė bei objekto „pajautimas“. Modelių kūrėjas nustato objektą sudarančių elementų svarbos hierarchiją. Kai kurie elementai pateikiami išsamiai, kiti neryškiai ar net nevaizduojami. 3D modeliavimui klasikiniiais metodais, skirtingai nei skaitmeniniais, didelę įtaką daro subjektyvumas ir žmogiškasis faktorius.

2.3.1. 3D brėžinių sudarymas rankiniu būdu: projektavimo metodai

3D modeliavimas rankiniu būdu paprastai yra greitesnis ir paprastesnis nei kiti būdai ir gali būti atliekamas visokiomis sąlygomis. 3D brėžiniams sukurti naudojami du projektavimo metodai: 1) lygiagrečios (ortogonalinės) ir 2) perspektyvinės projekcijos (Ducki, Rokosza, Rylke, Skalski, 2003).

Pirmuoju, paprastesniuoju metodu, linijos projektuojamos lygiagrečiai trimis koordinacių sistemoms (X, Y ir Z) skirtingais linijų orientavimo kampais ir siejama su bazine horizontaliąja plokštuma. Išskiriami šios projekcijos rūšys: izometrinė ir aksonometrinė (projektuojama pasvirusioje, įstrižinėje plokštumoje). Lygiagrečiosios (ortogonaliosios) projekcijos 3D brėžiniai yra lengvai suprantami ir nespecialistams, jie sudaromi įvairiais masteliais ir dažnai naudojami, pristatant miesto ar statinių planus, taip pat mažas architektūrines erdves (sodus, atriumus ir kt.). Lygiagrečiosios projekcijos taikymo pavyzdžiai pateikti (2.7 pav).

Perspektyvinėms projekcijoms būdinga lygiagrečių linijų konvergencija begalybės (sueities) taškuose, išsidėsčiusiuose ant horizonto linijos (stebėtojo akių lygyje). Dažniausiai naudojamos vieno taško ir dviejų taškų perspektyvinė projekcija.



2.7. PAV. Ortogonaliosios projekcijos taikymo pavyzdžiai (Šaltinis: a – Bialystoko centro aksonometrinė projekcija, Wojciecho Matyso brėžinys, b – gatvės 3D modelis – parengtas Marek Kierklo, Kartuzy, fotonuotrauka Bartłomiej Gruby, WEB-11)

3D brėžiniai paprastai sudaromi *šiais* pagrindiniais perspektyvinės projekcijos metodais: linijine ir atmosferine. Linijinėje perspektyvinėje projekcijoje visi projektuojamieji spinduliai (susiliejančios/ sueinančios į tašką linijos), nukreipti link sueities taško (ar taškų), esančio ant horizonto linijos (stebėtojo akių lygyje). Linijinės perspektyvinės projekcijos taikymo pavyzdžiai pateikti (2.8 pav).

a



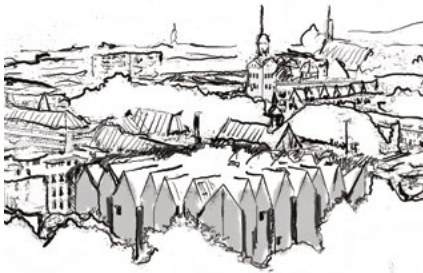
b



2.8. PAV. Linijinės perspektyvinės projekcijos taikymo pavyzdžiai (Šaltinis: a) Martos Baum brėžinys; b) Wojciecho Matyso brėžinys)

Atmosferinė perspektyvinė projekcija paremta kraštovaizdžio tapyba (vaizdavimu). Rodoma erdvė nėra „sukonstruota“ (Wilk, 2014). Dažnai neįmanoma nustatyti linijų sueities taškų padėties, o brėžinio „gylis“ apibūdina įvairių objektų dydžius (didesni atrodo arčiau, mažesni toliau). Atmosferinės perspektyvinės projekcijos taikymo pavyzdžiai pateikti (2.9 pav).

a



b



2.9. PAV. Atmosferinės perspektyvinės projekcijos taikymo pavyzdžiai (Šaltinis: a – Wojciecho Matyso grafinis brėžinys, b – Martos Baum grafinis brėžinys)

2.3.2. Rankiniu būdu sukurti modeliai

Modelis yra įprastas trjų dimensijų erdvinis vaizdas, sukurtas tam tikru masteliu ar atitinkamomis proporcijomis. Įprastas modelio vaizdas pasiekiamas naudojant homogeninius duomenis, neapibrėžtus elementus arba supaprastinant pateiktas erdves. Dažnai 3D erdvėje modeliuojami skulptūriniai objektai arba kuriami taktiliniai modeliai, skirti akliems. Modelių, sukurtų rankiniu būdu, pavyzdžiai pateikti (2.10 pav).

a



b



2.10. PAV. Modelių, sukurtų rankiniu būdu, pavyzdžiai (Šaltinis: a – Modelis sukurtas Jerzy Grygorczuk, W. Matys fotonuotrauka, b – M. Kłopotowski fotonuotrauka)

Modeliai rankiniu būdu gali būti sukurti ir skaitmenizuojant fotonuotraukas didelio formato skeneriais. Skaitmeniniai duomenys naudojami vizualizacijai, o fotonuotraukos apdorojamos specialia programine įranga.

2.4. Kompiuterinė grafika ir 3Dmodeliavimas

Architektūrinių brėžinių, kaip specialistų bendravimo priemonė yra neabejotinai svarbi. Todėl vienas iš esminių tikslų – suteikti būtinas profesinei veiklai žinias apie šių priemonių kūrimą. Daugelis architektų komunikuoja, analizuodami brėžinius, sukurtus kompiuterinės grafikos pagalba. Galima teigti, kad grafinis vaizdas – architektūrinis brėžinys teikia didžiausią potencialą, nagrinėjant su architektūra susijusius klausimus. Dažniausiai praktiniu būdu įsisavinimi ne tik architektūrinių brėžinių sudarymo klasikiniai (įprastieji), bet ir naujaisi inovatyvūs metodai.

Statinių informacijos modeliavimo sistema BIM (Building Information Modelling) atveria plačias galimybes inovatyvius metodus taikyti kompiuterinėje grafikoje. BIM taikymas kartu su Revit programa architektūroje leidžia sukurti ne tik trijų dimensijų modelius su įvairia vizualizacija, bet ir atlikti pastatų modeliavimą realiuoju laiku. Atlikus programinių sistemų AutoCAD, AutoCAD Architecture ir Revit palyginimą, teigiama, kad šie įrankiai naudojami, siekiant pavaizduoti realią situaciją, tačiau reikia išskirti svarbiausią dalyką – Revit įrankiu galima atlikti ir objekto modeliavimą. Modeliavimo proceso metu galima pasirinkti projektavimo etapus, spręsti problemas, išskylančias pastato eksploatavimo metu, kt. Kompiuterinis grafinis brėžinys paprastai kuriamas 2D ir 3D formatais, tačiau taikant revoliucingąjį technologinį sprendimą – BIM, galimos ir šios naujos funkcijos:

- 4D-BIM: laiko rodiklio įtraukimas į projektą;

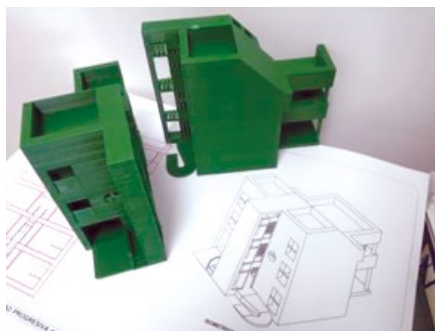
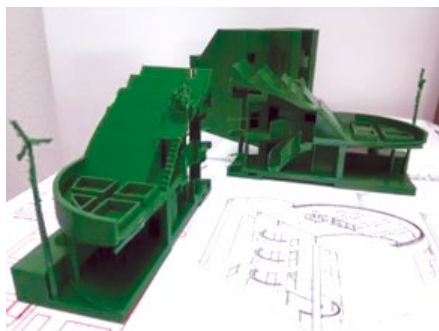
- 5D-BIM: statybos išlaidų, susijusių su statybos trukme ir pastato ilgaamžiškumu, skaičiavimas;
- 6D-BIM: pastato priežiūra per visą jo egzistavimo laikotarpį.

2.4.1. 3D spausdintuvas

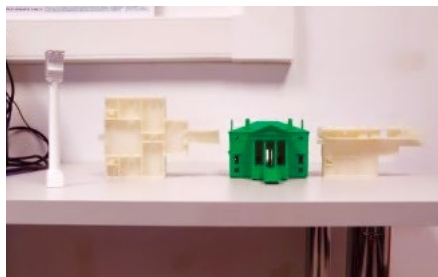
3D spausdintuvas yra įranga, galinti sukurti trijų dimensijų (matmenų) spausdintą modelį, naudojant įvairias medžiagas (dumblą, plastiką, metalą ir kt.). 3D spausdintuvu sukuriamos/ spausdinamos kompiuteriu suprojektuotos tūrinės dalys. Spausdinimo procesas tęsiasi tol, kol suprojektuotas 3-jų dimensijų objektas pagaminamas ir pastatomas ant parengtojo sluoksnio. 3D spausdintuvas yra kompiuterizuota įranga, skirta modeliui pagaminti pagal sukonstruotą fizinį 3D objektą. Pavyzdžiui, jei naudojantis bet kuria CAD (Computer Aided Design) programa, kuriamas kavos puodelio grafinis brėžinys, tai 3D spausdintuvu pagaminamas (atspausdinamas) fizinis produktas (šiuo atveju – puodelis). Taip naudodamiesi fiziniais duomenimis elektroniniu būdu galima sugeneruoti įvairius modelius. Objektų modelių gaminimui (3D spausdinimui) gali būti naudojama apie 100 skirtingų rūšių medžiagų.

2.4.2. 3D spausdintuvo naudojimas: UPM tyrimai

2.11 pav. ir 2.12 pav. pateiktieji 3D modeliai pagaminti 3D spausdintuvu *MARKETBOT REPLICATOR TM2*. Spausdintuvo fotonuotrauka pateikta 2.13 pav.



2.11. PAV. Modeliai, pagaminti MARKETBOT REPLICATOR TM2 3D SPAUSDINTUVU (Šaltinis: sukurta autorių, 2020)



2.12. PAV. Modeliai, pagaminti MARKETBOT REPLICATOR TM2 3D SPAUSDINTUVU: PALLADIO, VILA CHIERICATI (Šaltinis: sukurta autorių, 2020)



2.13. PAV. 3D spausdintuvas MakerBot Replicator (Šaltinis: sukurta autorių, 2020)

3D spausdintuvai – tai vienas iš didžiausių išradimų, pasiekusių taikomumo viršūnę XXI amžiuje. 3D spausdintuvų rinkoje galima rasti daugybę skirtingų spausdintuvų modelių, įvairaus dydžio ir skirtingos kainos, o įsigijus spausdintuvą, netgi leidžiama jį išbandyti.

Literatūros šaltiniai

1. Ducki, J., Rokosza, J., Rylke, J., Skalski, J. (2003) *Hand Drawing for Landscape Architects* (in Polish), Warsaw, Publishing House SGGW
2. Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin: Walter de Gruyter. 459
3. Linder, W. (2009). *Digital Photogrammetry. A practical Course*, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 33–73, 121–131
4. *Manual of Photogrammetry* (Edited by J. Chris McGlone), (2004) *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Maryland, USA, 959–963
5. Ruzgienė, B.; Berteška, T.; Gečytė, S.; Jakubauskienė, E.; Aksamitauskas, V, Č. (2015). *The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. Measurement*. Oxford: Elsevier Ltd. Vol. 73, p. 619–627

6. WEB-1: *Cartography*, (2020), [Online] Available from: <https://www.britannica.com/science/cartography> [Accessed: 18.02.2020]
7. WEB-2: *Modern Cartography*, (2020), [Online] Available from: <http://www.gsdi.org/docs/2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf> [Accessed: 18.02.2020]
8. WEB-3: Google Earth, Street View application (2020), [Online] Available from: <https://earth.google.com/web/@55.69191266,21.17681752,11.67728544a,6495.67834488d,35y,0.00000121h,0t,0r/> [Accessed: 20.10.2020]
9. WEB-4: *Geospatial technology*, (2020), [Online] Available from <https://mapasyst.extension.org/what-is-an-orthophoto/> [Accessed: 18.02.2020]
10. WEB-5: Maps.lt (2020), [Online] Available from: <https://beta.maps.lt/?c=2362412.9%2C7500077.6&r=0&s=72223.819286&b=orto/> [Accessed: 20.10.2020]
11. WEB-6: Smart Office, (2020), [Online] Available from: <https://www.soffice.lt/produktas/technine-iranga/tacheometriai/daugiafunkciniai/MS60.html> [Accessed: 10.03.2020]
12. WEB-7: Stonex (2020), [Online] Available from: <https://www.stonex.it/project/x300-laser-scanner/> [Accessed: 15.03.2020]
13. WEB-8: Reshapter 3D, (2020), [Online] Available from: <https://www.3dreshaper.com/en/software-en/download-software/current-release-software> [Accessed: 22.03.2020]
14. WEB-9: Terrestrial Laser Scanning, (2020), [Online] Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/terrestrial-laser-scanning> [Accessed: 20.01.2020]
15. WEB-10: Mažosios Lietuvos istorijos muziejus (2020), [Online] Available from: <http://www.mlimuziejus.lt/park/> [Accessed: 20.10.2020]
16. WEB-11: Kartuzy (2020), [Online] Available from: <https://kartuzy.info/zdjecie/3631957> [Accessed: 20.10.2020]
17. Wilk, S. (2014) *Construction and Design Manual Drawing for Landscape Architects*, Dom Publisher, Berlin

2. MODELADO Y DIGITALIZACIÓN 3D EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

*Birutė Ruzgienė, Lina Kuklienė, Indrius Kuklys, Dainora Jankauskienė,
Mercedes Valiente, Wojciech Matys*

2.1. Fundamentos de la cartografía y la fotogrametría

La utilización de los programas cartográficos en los espacios públicos digitales es cada vez más frecuente. Un producto cartográfico interactivo integrado en muchos sistemas cartográficos digitales se ha convertido en algo muy necesario. Un mapa es una representación visual de un área terrestre completa o una parte de un área, usualmente representada en una superficie plana. Hay varios tipos de mapas: bidimensionales, tridimensionales, cuatridimensionales, dinámicos e incluso por sistemas web. Los mapas representan diversos objetos: características físicas, carreteras, topografía, población, climas, recursos naturales, actividades económicas, pequeños monumentos arquitectónicos, límites políticos, etc.

La cartografía es el arte y la ciencia de representar gráficamente un área geográfica, generalmente en un mapa o carta. Puede implicar la superposición de objetos políticos, culturales, o no geográficos en la representación de un área geográfica. La cartografía moderna implica en gran medida el uso de fotografías aéreas y satelitales como base para cualquier mapa o carta deseada. Los procedimientos para traducir los datos fotográficos en mapas se rigen por los principios de la fotogrametría y producen un grado de precisión previamente inalcanzable. Las notables mejoras en la fotografía por satélites desde finales del siglo XX y la disponibilidad general en Internet de imágenes satelitales han hecho posible la creación de *Google Earth* y otras bases de datos disponibles globalmente (WEB-1). Además, el uso del sistema de información geográfica (SIG) ha sido indispensable para ampliar el alcance de los temas cartográficos. La cartografía está relacionada con tres supuestos: 1. La cartografía es relevante al asegurar la calidad de la información geoespacial; 2. La cartografía es atractiva al construir mapas interactivos y colaborativos; 3. La cartografía es moderna al generar modelos 3D y 4D en tiempo real (WEB-2). Fig. 2.1 muestra un ejemplo de aplicación de cartografía moderna



FIG. 2.1. Cartografía moderna: imágenes 2D, 3D/ mapas y fotografía de Street View del parque de esculturas en la ciudad de Klaipeda (Fuente: WEB-3)

La fotogrametría es la ciencia de hacer mediciones fiables mediante el uso de fotografías y especialmente fotografías aéreas (como en la topografía). La definición de fotogrametría puede ampliarse: la fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información fiable sobre los objetos físicos y el medio ambiente a través del proceso de registrar, medir e interpretar imágenes fotográficas y patrones de imágenes electromagnéticas radiantes y otros fenómenos. El principal producto creado por el uso de la ciencia de la fotogrametría es el mapa orto fotográfico. Una orto foto (también conocida como orto fotografía) es una imagen aérea que ha sido corregida geoméricamente (orto rectificada) para que la imagen sea uniforme de punto a punto. Las orto fotos se corrigen para eliminar los efectos del terreno (lo que sucede cuando se toma una superficie 3-D y se convierte en un producto 2-D) y las distorsiones que resultan de la lente de la cámara y el ángulo de la foto se tomó desde el plano.



FIG. 2.2. Fragmento de mapa ortofotográfico: entorno KVK, ciudad de Klaipeda (Fuente: WEB-5)

El objetivo de la orto rectificación es crear una imagen donde las medidas de distancia son las mismas en toda la imagen. Un mapa digital orto fotográfico típicamente tiene una referencia geográfica a la Tierra, como las coordenadas UTM o State Plane, por lo que cada píxel en la foto se puede localizar con precisión (Manual, 2004; Linder, 2009; WEB-4). Muchas de las fotografías aéreas digitales disponibles a través de GIS son orto fotos. Fig. 2.2 muestra fotografía aérea rectificada: fragmento del mapa orto fotográfico de la ciudad de Klaipeda.

2.2. Generación de modelos espaciales de pequeños objetos arquitectónicos situados en un espacio público

La cartografía de los objetos del patrimonio cultural protegido es pertinente hoy y en el futuro. La idea es conmemorar los objetos del patrimonio cultural, protegiéndolos de la degradación, asegurar la preservación de la información, aumentar la relevancia y visibilidad, y lograr un acceso más conveniente a la geo información. Varias instituciones participan en el objetivo común de promover el patrimonio cultural de los residentes lituanos y extranjeros utilizando las tecnologías de la información.

Estos mapas digitales se están haciendo públicos y accesibles en el sitio web para cualquier persona interesada. El escaneo láser terrestre (TLS) se refiere a la tecnología terrestre de Detección y Alcance de Luz (LiDAR), adquiriendo coordenadas XYZ de numerosos puntos en superficies emitiendo pulsos láser hacia estos puntos y midiendo la distancia desde el dispositivo al objetivo. Los paquetes de software son generalmente necesarios para administrar y analizar los datos debido a la gran cantidad de datos almacenados en una nube de puntos TLS. Una nube de puntos puede convertirse en una red DEM para facilitar la cartografía topográfica y los análisis espaciales. Los instrumentos TLS se dividen comúnmente en tres categorías basadas en la distancia que la luz láser puede recorrer para registrar un punto en un campo de visión: escáneres de corto, medio y largo alcance. Una posible limitación de las aproximaciones TLS es el peso del instrumento (>20 kg incluyendo la batería) (Ruzgienė, Berteška *et al.* 2015, Kraus, 2007).

2.2.1. Instrumentos y tecnologías

El nuevo *Leica Nova MS60* MultiStation permite la topografía con un solo instrumento, combina capacidades de escaneo láser 3D rápidas, conectividad GNSS e imágenes digitales (WEB-6). Las características del *Nova MS60* incluyen una velocidad láser rápida de hasta 30,000 puntos por segundo, definiciones optimizadas del área de escaneo, administración adaptada del escaneo y una ruta de escaneo mejorada para escaneos cenitales. Los profesionales de la medición pueden tomar decisiones

directamente en el campo, realizando análisis de nubes de puntos tales como análisis de planeidad, etc. Los datos de escaneo de la *Nova MS60* pueden mostrar gráficamente en tiempo real, recogiendo las posiciones de puntos en el campo.

Escáner láser *Stonex X300* hecho en Italia es un escáner 3D diseñado para ofrecer resultados eficaces todos los días, en cualquier proyecto. *X300* tiene una línea dedicada de accesorios para trabajar mejor, controlado por teléfono inteligente o tableta, le permite trabajar donde otros fallan, independientemente de polvo, humedad, calor o golpes (WEB-7).

3D Reshaper es un software de escáner dedicado a los topógrafos y puede realizar Procesamiento de Nubes de Puntos (filtros manuales y automáticos, fusión, color), Mallado 3D (alisado, llenado de agujeros, mejora de bordes), Inspección 3D de datos, Polilíneas, Superficies CAD, para calcular un Modelo de Superficie Digital, perfiles longitudinales, puntos de clasificación, etc (WEB-8).

JRC 3D Reconstructor es el potente software multiplataforma para manager LiDAR nube de puntos (point cloud): importar, procesar y gestionar datos de una nube terrestre, escáner láser portátil, móvil y aerotransportado e integra fácilmente datos de imágenes UAV y 3D en una sola plataforma.

Para la realización de modelado 3D de pequeños objetos arquitectónicos ubicados en parques urbanos/ espacios públicos el uso de tecnologías de cartografía/ geoinformación actualizadas tales como:

- Teledetección (RS) – utilizar imágenes de satélites en la aplicación *Google Earth* (simultáneamente *Street View*) para una visión general de la situación general del objeto de estudio (WEB-3).
- Terrestrial Lidar Scanning (TLS) – las esculturas de escaneo con escáner láser (*Nova MS60*, *Stonex X300*), modelado 3D mediante el uso de software (*3D Reshaper*, *JRC 3D Reconstructor*). El *MS60* acelera los flujos de trabajo combinando tecnologías (imágenes, capacidades de escaneo y conectividad GNSS) en este instrumento todo en uno. Con el software *3D Reshaper*, todos los datos de medición y escaneo se pueden visualizar en un entorno 3D para correcciones de calidad e integridad (WEB-9)
- Geoinformation Systems – el uso de la aplicación de software *ArcGIS* para la construcción de mapas temáticos, la adquisición de la topografía y las coordenadas de otras fuentes de datos – municipio de la ciudad.
- Fotogrametría aérea – el uso de mapas orto foto con resolución de 10 cm para la presentación de las posiciones de esculturas y rutas en los parques de la ciudad para uso público.

2.2.2. Resultados de la cartografía de esculturas

El parque de esculturas situado en la ciudad de Klaipeda, Lituania es la galería de arte al aire libre con 116 obras de arte de diversos objetos temáticos y 6 históricos, situado en un área de 10 hectáreas. Este objeto fue seleccionado por su gran importancia como

monumento de naturaleza y arte que combina el legado histórico conmemorativo, esculturas decorativas modernas y el uso del espacio público para eventos culturales. El registro geográfico de objetos del parque escultórico es una actividad importante para obtener información que pueda ser utilizada para la construcción de una base de datos moderna, y se pueda diseminar digitalmente para cubrir las necesidades de todos mediante el uso de dispositivos inteligentes.

Adquisición y procesamiento de datos. 116 esculturas y 6 objetos históricos fueron escaneados mediante el uso de tecnología de escaneo terrestre (TLS) con el escáner láser *Leica Nova MS60*. Las fotografías de todas las esculturas con el uso de una cámara de alta resolución se obtuvieron de cuatro estaciones (en los lados, frente, detrás de la escultura) y a veces de estaciones adicionales dependiendo de la complejidad de la escultura. Estas fotografías fueron utilizadas para el modelado 3D.

Software *3D Reshaper* se ha aplicado para el modelado 3D de todas las esculturas en un entorno virtual (WEB-8). La base de geoinformación virtual se puede encontrar en las plataformas de www.regia.lt o www.mlim.lt (WEB-10) y es de libre acceso. El modelado 3D se realizó paso a paso: importación de nubes de puntos obtenidas del escaneo láser de esculturas; creación de TIN, relleno de huecos; creación de una imagen real; sombreado de áreas invisibles, generación de modelos tridimensionales. El ejemplo de escultura modelada en 3D llamada “Bangpūtys” por el software *3D Reshaper* se presenta en las Figuras 2.3 y 2.4.

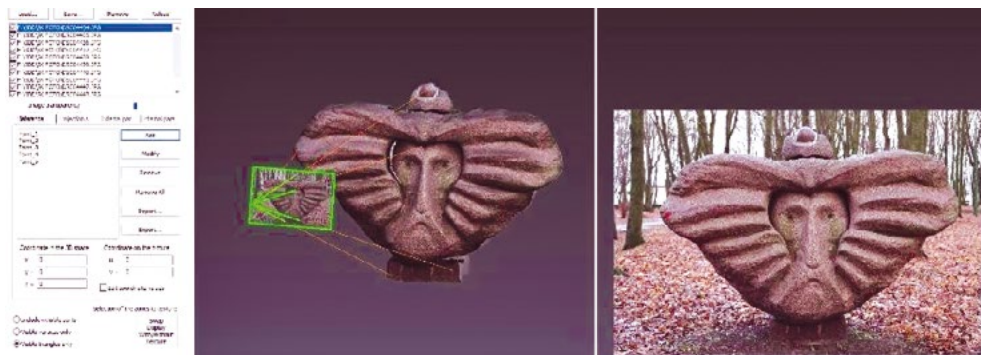


FIG. 2.3. Extracción de un modelo de imagen real: orientación del modelo de escultura, utilizado 4 fotografías (Fuente: elaboración propia, 2020)



FIG. 2.4. Modelo 3D de escultura "Bangpūty's" generado a partir de datos TLS (Fuente: elaboración propia, 2020)

Construcción de mapas temáticos. El conjunto de datos espaciales se creó con la aplicación de software ArcGIS. El mapa orto fotográfico del área de estudio y el levantamiento topográfico con las coordenadas planimétricas de las esculturas fue proporcionado por el municipio de la ciudad de Klaipeda. Estos datos fueron importados en ArcGIS superponiendo posiciones de esculturas en el mapa orto-fotográfico y un mapa construido (Fig. 2.5).



FIG. 2.5. Posición de las esculturas en el mapa orto fotográfico y el mapa del parque de esculturas construido con el uso de la tecnología SIG (Fuente: elaboración propia, 2020)

Se han realizado el modelado 3D de objetos de patrimonio arquitectónico de Baubliai, situado en Dionizo Poskos museo de antigüedades de campo, del pueblo de Bijotų, Lituania. Los robles, que tenían unos mil años, se llaman Baubliai. El museo vertiente tallo de roble con techo de paja, y recubierto de cintas con cimientos de un cementerio; – allí escritor e historiador, ilustrador de la cultura D. Poška a finales del siglo XIX. Baubliai, ha sido declarado como un importante monumento histórico, cultural, antiguo de la cultura lituana sin parangón. Hoy en día Baubliai (Baubles) están protegidos por cubiertas de vidrio.

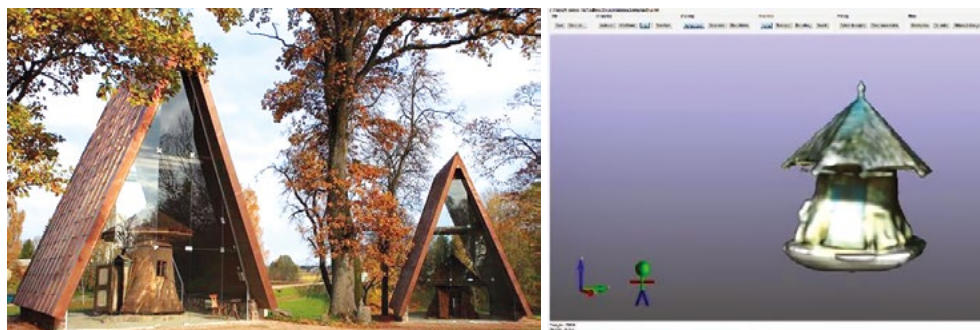


FIG. 2.6. El museo de campo con monumentos culturales y modelo generado por 3D de Bauble por el uso de la tecnología TLS (Fuente: elaboración propia, 2020)

Se escanearon dos Baubles con el escáner láser *Stonex X300* y se utilizó la tecnología TLS. Debido a que ambos Baubles estaban bajo un vidrio cerrado y un recinto con techo, el procedimiento de escaneo se complica. Para ambos Baubles, debido al techo trapezoidal, se decidió medir desde seis posiciones diferentes en el exterior y también en el interior con ángulo de exploración de 75–90 ángulos. Las condiciones de medición se hicieron más difíciles debido al techo cónico, por lo tanto el escáner láser tuvo que ser elevado más alto. Debido a las difíciles condiciones de medición mencionadas anteriormente, las mediciones duraron cinco horas. El modelado 3D de Baubles se realizó mediante el uso del software *JRC 3D Reconstructor* de procesamiento, unificar, corregir de la nube de puntos. El modelo 3D generado de un Bauble se presenta en la Figura 2.6.

2.3. Métodos clásicos de modelado 3D

Las nuevas tecnologías están reemplazando las viejas formas de modelado 3D del patrimonio cultural. Sin embargo, no podemos olvidar los métodos clásicos de visualización de objetos. Al construirlos, nos basamos métodos de medición: tradicionales (medidores manuales) y modernos (medidores electrónicos). Sin embargo, al crearlos, es importante o aún más importante es el “sentimiento” del objeto por el autor del modelo, su conocimiento, experiencia e imaginación. El autor decide sobre la jerarquía de importancia de los elementos incluidos en el objeto. Algunos de ellos son detallados, otros están borrosos o incluso borrados. Ese tipo de modelado 3D, a diferencia de los métodos digitales, está fuertemente influenciado por la subjetividad y la humanidad.

2.3.1. Dibujos en 3D hechos a mano

Este tipo de modelado 3D suele ser más rápido y sencillo que otros, y se puede hacer siempre y en todas partes.

Se utilizan dos métodos para crear dibujos en 3D: proyecciones paralelas y proyecciones en perspectiva (Ducki, Rokosza, Rylke, Skalski, 2003).

En el primer método (más simple), las líneas se proyectan en paralelo a lo largo de tres ejes diferentes (x, y, z) con ángulos diferentes en conjunción con una línea de base horizontal. Distinguimos la proyección isométrica, la elevación oblicua y la proyección/planta oblicua axonométrica. Este tipo de dibujo 3D es fácilmente comprensible incluso por las personas no iniciadas en dibujo y se puede construir a todas las escalas. A menudo se utiliza tanto para presentar diseños urbanos y urbanísticos como pequeños espacios arquitectónicos (jardines, atrios, etc.) (Fig.2.7).

Las perspectivas se caracterizan por la convergencia de líneas paralelas en los puntos de fuga normalmente situados en la línea del horizonte (a nivel del ojo del espectador).

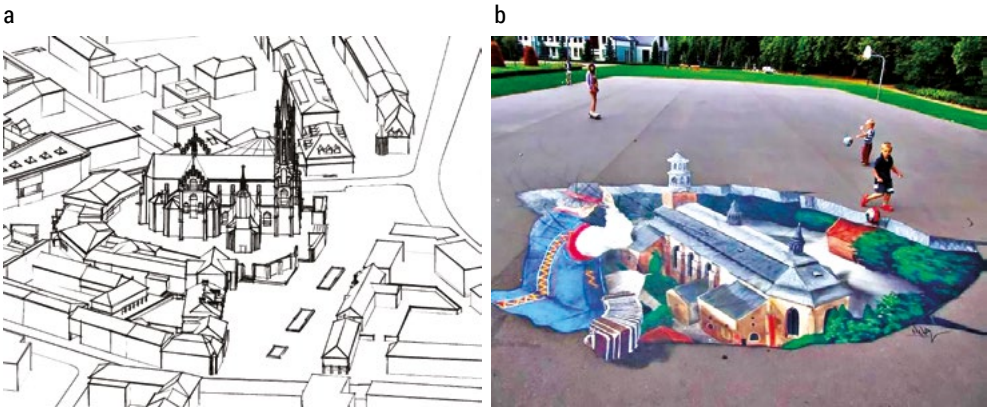


FIG. 2.7. Ejemplos del uso de gráficos de proyección paralela (Fuente: a – Perspectiva Axonométrica del centro de Białystok por Wojciech Matys; b – Calle 3D – realizado por Marek Kierklo, Kartuzy, fotografía de Bartłomiej GrubY, WEB-11)

Las más utilizadas son las perspectivas de un punto y dos puntos. Este tipo de dibujos 3D se crean generalmente en dos tipos principales de perspectiva: perspectiva lineal y perspectiva aérea.

La perspectiva lineal tiene todas las líneas convergentes que parecen fugar hacia un punto de fuga común (o puntos) colocados en un nivel visual de la “línea del espectador” (línea del horizonte) (Fig.2.8).

a



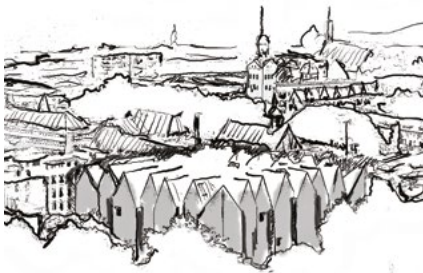
b



FIG. 2.8. Proyección de perspectiva lineal – ejemplos (Fuente: a – gráficos de Marta Baum, b – gráficos de Wojciech Matys)

La perspectiva aérea se basa en la pintura de paisajes. El espacio mostrado no está “construido” (Wilk, 2014). A menudo es imposible determinar la ubicación de los puntos de fuga y la profundidad se muestra por diferentes tamaños de objetos (más grandes parecen más cercanos, más pequeños más lejos) (Fig. 2.9).

a



b



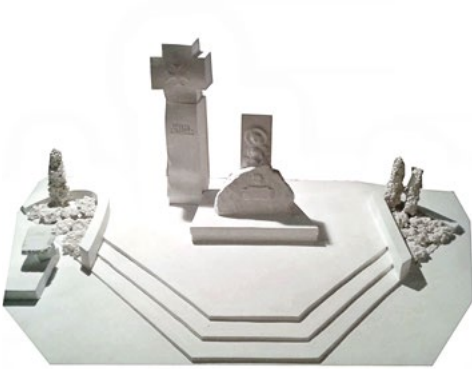
FIG. 2.9. Proyección de perspectiva atmosférica – ejemplos (Fuente: a – gráficos de Wojciech Matys, b – gráficos de Marta Baum)

2.3.2. Modelos manuales

Un modelo es una “imagen” tridimensional convencional del espacio realizado a una escala dada o en proporciones adecuadas. La percepción del modelo se logra, entre otras cosas, gracias al uso de materiales homogéneos, el uso de elementos no obvios, indefinidos, o la simplificación de los espacios presentados.

Este tipo de modelado 3D se utiliza a menudo al crear modelos de objetos escultóricos o también modelos táctiles destinados principalmente a los ciegos (Fig. 2.10).

a



b



FIG. 2.10. Ejemplos de modelos manuales (Fuente: a – Modelo manual creado por Jerzy Grygorczuk, foto de W. Matys, b – foto de M. Klopotoski)

Las vistas de los modelos se digitalizan con fotos. Lo mismo ocurre con los dibujos realizados a mano que también se escanean (también con escáneres de gran formato). Los objetos digitalizados se pueden utilizar en visualizaciones usando software de procesamiento de fotos.

2.4. El dibujo por ordenador es una forma diferente de dibujar

La importancia del Dibujo Arquitectónico como medio de comunicación entre profesionales es incuestionable. Es por ello que uno de los objetivos esenciales de las Escuelas Técnicas en su Plan de Estudio, es dotar a los estudiantes de un medio de comunicación esencial para sus futuras actividades profesionales. Lo que está claro es que prácticamente ningún arquitecto importante ha prescindido del lenguaje intermedio que es la representación gráfica. Por lo tanto, es seguro decir que el medio gráfico, el dibujo arquitectónico, realmente ofrece el mayor potencial para el estudio de todo el conjunto de cuestiones relacionadas con la disciplina arquitectónica. Al mismo tiempo se enseñan, o al menos ese ha sido el objetivo de nuestros años de enseñanza en esta escuela, las reglas precisas para dominar las diferentes técnicas, tanto convencionales como nuevas, que se han utilizado o se utilizan en la ejecución de Dibujo Arquitectónico y los conocimientos necesarios para su reestructuración.

Hoy en día no sólo se enseñan técnicas convencionales, sino que se intenta, al menos experimentalmente, mostrar a cada estudiante formas más innovadoras de representación arquitectónica. Este es el caso del uso de ordenadores, y en especial el lenguaje BIM. Existen nuevas formas de dibujar el BIM (Building Information Modelling). Para aplicaciones BIM, con programas como Revit, la arquitectura es más que un modelo tridimensional con diferentes representaciones; no basta con representar el edificio de una manera realista, es un simulador de edificios en condiciones reales.

Se han empleado muchas palabras al comparar AutoCAD – AutoCAD Architecture – Revit, pero si lo hacemos, siempre caeremos en la comparación simplista como herramientas para representar la realidad, olvidando lo más importante de Revit, que es simular la realidad. Simular la realidad puede hacer mejores elecciones en la fase de diseño, así como proporcionar muchos de los problemas que surgen en el ciclo de vida del edificio. El dibujo por ordenador se proyectó en 2D y 3D, pero con BIM se incorporaron nuevos conceptos:

- 4D-BIM: incorporación del factor tiempo en el proyecto
- 5D-BIM: costes de construcción relacionados con el tiempo y la durabilidad del edificio
- 6D-BIM: mantenimiento del edificio durante toda su vida útil

El BIM (Building Information Modeling), es una nueva revolución como con el método del dibujo por ordenador.

2.4.1. Introducción a la impresión 3D

Una impresora 3D es una máquina capaz de generar diseños de impresión en tres dimensiones y en diferentes materiales que van desde barro, polvo, algunos plásticos e incluso metales. El resultado es poder crear piezas volumétricas previamente diseñadas en un ordenador.

Las impresoras 3D utilizan múltiples tecnologías de fabricación y trataremos de explicar brevemente cómo funcionan. Con las impresoras 3D lo que se hace es crear un objeto con sus tres dimensiones y esto se construye en capas hasta que el objeto esté terminado. Lo que una impresora 3D realmente hace es producir un diseño de computadora 3D creado con un modelo 3D físico. En otras palabras, si hemos diseñado en nuestro ordenador, por ejemplo una simple taza de café (por cualquier programa CAD – Computer Aided Design) podemos imprimirla a través de la impresora 3D y producir un producto físico que sería nuestra propia taza de café. Con esto podemos generar elementos físicos desde diseños electrónicos. En general, los materiales utilizados para la fabricación de objetos pueden ser, nylon, metal y alrededor de 100 tipos diferentes de materiales.

2.4.2. Usos de impresión 3D de impresoras 3D en diferentes sectores: investigación en la UPM

Los modelos están fabricados con una impresora 3D modelo MARKETBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP 3D PRINTER Fig. 2.11. En las imágenes se pueden ver algunos ejemplos. En la Fig. 2.12. Fig. 2.13. Se pueden ver los modelos realizados.

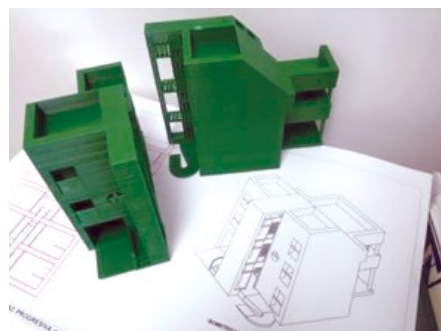
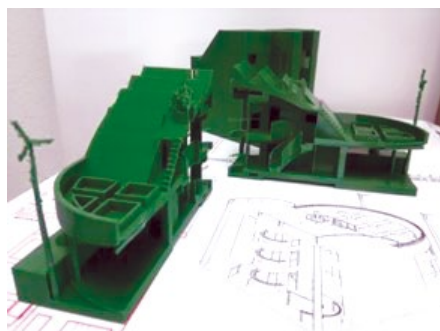


FIG. 2.11. Los modelos fueron hechos con una impresora 3D MARKETBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP 3D PRINTER (Fuente: elaboración propia, 2020)

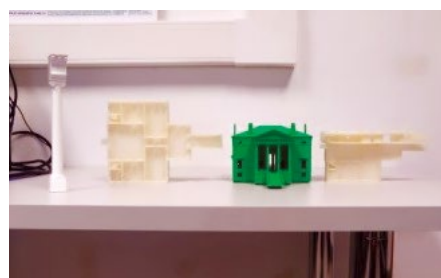


FIG. 2.12. Los modelos fueron hechos con una impresora 3D MARKETBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP 3D PRINTER PALLADIO HOUSES VILLA CHIERICATI (Fuente: elaboración propia, 2020)



FIG. 2.13. Impresora 3D MakerBot Replicator y XYZ PRINTING DA VINCI 1.0 (Fuente: elaboración propia, 2020)

Durante mucho tiempo, las impresoras 3D han sido uno de los mayores inventos que ha alcanzado su punto máximo en este siglo XXI, debido a la gran cantidad de empresas que están innovando en su producción y en los usos de aplicación que se pueden dar. El mercado en impresoras 3D revela muchos propósitos, tamaños y precios diferentes, abriendo millones de posibilidades para una producción fácil incluso permite el ensayo de prueba y error sin costos excesivos.

Referencias

1. Ducki, J., Rokosza, J., Rylke, J., Skalski, J. (2003) *Hand Drawing for Landscape Architects* (in Polish), Warsaw, Publishing House SGGW
2. Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin: Walter de Gruyter. 459
3. Linder, W. (2009). *Digital Photogrammetry. A practical Course*, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 33–73, 121–131
4. Manual of Photogrammetry (Edited by J. Chris McGlone), (2004) *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Maryland, USA, 959–963
5. Ruzgienė, B.; Berteška, T.; Gečytė, S.; Jakubauskienė, E.; Aksamitauskas, V, Č. (2015). *The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. Measurement*. Oxford: Elsevier Ltd. Vol. 73, p. 619–627
6. WEB-1: *Cartography*, (2020), [Online] Available from: <https://www.britannica.com/science/cartography> [Accessed: 18.02.2020]
7. WEB-2: *Modern Cartography*, (2020), [Online] Available from: <http://www.gsdi.org/docs/2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf> [Accessed: 18.02.2020]
8. WEB-3: Google Earth, Street View application (2020), [Online] Available from: <https://earth.google.com/web/@55.69191266,21.17681752,11.67728544a,6495.67834488d,35y,0.00000121h,0t,0r/> [Accessed: 20.10.2020]
9. WEB-4: *Geospatial technology*, (2020), [Online] Available from <https://mapasyst.extension.org/what-is-an-orthophoto/> [Accessed: 18.02.2020]
10. WEB-5: Maps.lt (2020), [Online] Available from: <https://beta.maps.lt/?c=2362412.9%2C7500077.6&r=0&s=72223.819286&b=orto/> [Accessed: 20.10.2020]
11. WEB-6: Smart Office, (2020), [Online] Available from: <https://www.soffice.lt/produktas/technine-iranga/tacheometrai/daugiafunkciniai/MS60.html> [Accessed: 10.03.2020]
12. WEB-7: Stonex (2020), [Online] Available from: <https://www.stonex.it/project/x300-laser-scanner/> [Accessed: 15.03.2020]
13. WEB-8: Reshapter 3D, (2020), [Online] Available from: <https://www.3dreshaper.com/en/software-en/download-software/current-release-software> [Accessed: 22.03.2020]
14. WEB-9: Terrestrial Laser Scanning, (2020), [Online] Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/terrestrial-laser-scanning> [Accessed: 20.01.2020]
15. WEB-10: Mažosios Lietuvos istorijos muziejus (2020), [Online] Available from: <http://www.mlimuziejus.lt/park/> [Accessed: 20.10.2020]
16. WEB-11: Kartuzy (2020), [Online] Available from: <https://kartuzy.info/zdjecie/3631957> [Accessed: 20.10.2020]
17. Wilk, S. (2014) *Construction and Design Manual Drawing for Landscape Architects*, Dom Publisher, Berlin

2. MODELOWANIE 3D I DIGITALIZACJA OBIEKTÓW DZIEDZICTWA KULTUROWEGO

*Birutė Ruzgienė, Lina Kuklienė, Indrius Kuklys, Dainora Jankauskienė,
Mercedes Valiente, Wojciech Matys*

2.1. Podstawy kartografii i fotogrametrii

Opracowania kartograficzne w cyfrowym obrazie przestrzeni publicznej występują obecnie częściej niż kiedykolwiek wcześniej. Interaktywna mapa osadzona stała się wszechobecna w wielu cyfrowych systemach kartograficznych. Taka mapa to wizualna prezentacja całego obszaru ziemi lub jej części, zwykle przedstawiana na płaskiej powierzchni. Istnieje kilka rodzajów map: dwuwymiarowa, trójwymiarowa, czterowymiarowa, dynamiczna, a nawet internetowa. Przedstawiają one różne obiekty: cechy fizyczne, drogi, topografię, ludność, klimat, zasoby naturalne, działalność gospodarczą, pomniki małej architektury, granice polityczne itp.

Kartografia jest dziedziną sztuki i nauki polegającą na graficznym przedstawianiu dowolnego obszaru geograficznego, zwykle na mapie lub wykresie. Może obejmować nakładanie się informacji politycznych, kulturowych lub pochodzących z innych obiektów niegeograficznych na prezentację obszaru geograficznego.

Współczesna kartografia w dużej mierze polega na wykorzystaniu zdjęć lotniczych i satelitarnych jako podstawy dowolnej mapy lub wykresu. Procesy transformacji danych fotograficznych na mapy wywodzą się z zasad fotogrametrii i zapewniają wcześniej nieosiągalny stopień dokładności. Niezwykle postępy w fotografii satelitarnej od końca XX wieku oraz ogólna dostępność zdjęć satelitarnych w Internecie umożliwiły stworzenie aplikacji *Google Earth* i innych szeroko dostępnych baz danych (WEB-1). Dodatkowo wykorzystanie systemu informacji geograficznej (GIS) okazało się nieodzowne w poszerzaniu zakresu tematów kartograficznych. Kartografia wiąże się z trzema założeniami: 1. Kartografia ma znaczenie dla zapewnienia jakości informacji geoprzestrzennej; 2. Kartografia jest atrakcyjnym sposobem tworzenia map interaktywnych, opartych na współpracy; 3. Kartografia to nowoczesne generowanie modeli 3D i 4D w czasie rzeczywistym (WEB-2). Rys. 2.1 przedstawia przykład nowoczesnej aplikacji kartograficznej.



RYS. 2.1. Współczesna kartografia: obrazy / mapy 2D, 3D i zdjęcie Street View parku rzeźb w Kłajpedzie. (Źródło: WEB-3)

Fotogrametria to nauka polegająca na wykonywaniu wiarygodnych pomiarów z wykorzystaniem fotografii, a bazująca głównie na zdjęciach lotniczych (jak w geodezji). Definicję fotogrametrii można rozszerzyć: fotogrametria jest sztuką, nauką i technologią uzyskiwania wiarygodnych informacji o obiektach fizycznych i środowisku poprzez proces rejestracji, pomiaru i interpretacji obrazów fotograficznych oraz wzorów promieniowania elektromagnetycznego i innych zjawisk. Głównym produktem stworzonym dzięki wykorzystaniu fotogrametrii jest ortofotomapa. Ortofoto (znane również jako ortofotografia) to zdjęcie lotnicze, które zostało geometrycznie skorygowane (ortorektyfikowane), tak aby obraz był jednolity od krawędzi do krawędzi. Ortofotografie są korygowane celem usunięcia efektów terenu (transformacja trójwymiarowej powierzchni na obraz dwuwymiarowy (płaski)) i zniekształceń, które wynikają z obiektywu aparatu i kąta, pod jakim zdjęcie zostało zrobione z samolotu.



RYS. 2.2. Fragment mapy ortofotomapy: środowisko KVK, Kłajpeda. (Źródło: WEB-5)

Celem modyfikacji ortogonalnej jest stworzenie obrazu, w którym pomiary odległości są takie same na całym obrazie. Cyfrowa mapa ortofotomapy zazwyczaj zawiera odniesienie geograficzne do Ziemi, takie jak współrzędne UTM lub SPCS, dzięki czemu istnieje możliwość dokładnego zlokalizowania każdego z pikseli na zdjęciu (Manual, 2004; Linder, 2009; WEB-4). Wiele cyfrowych zdjęć lotniczych dostępnych za pośrednictwem GIS to ortofotomapy. Rys. 2.2 przedstawia skorygowaną fotografię lotniczą: fragment ortofotomapy Kłajpedy.

2.2. Generowanie przestrzennych modeli obiektów małej architektury zlokalizowanych w przestrzeni publicznej

Mapowanie obiektów dziedzictwa kulturowego jest istotne zarówno dziś, będzie też ważne w przyszłości. Jego ideą jest ich upamiętnienie, zabezpieczenie przed degradacją, udokumentowanie, zwiększenie znaczenia i widoczności oraz zapewnienie wygodniejszego dostępu do geoinformacji na ich temat. Różne instytucje są zaangażowane we wspólny cel, jakim jest promowanie dziedzictwa kulturowego wśród mieszkańców Litwy i obcokrajowców za pomocą technologii informacyjnych. Mapy cyfrowe stają się publiczne i ogólnodostępne w Internecie dla każdego, kto jest nimi zainteresowany.

Naziemne skanowanie laserowe (TLS) odnosi się do technologii naziemnego wykrywania i określania odległości (LiDAR), polegającej na pozyskiwaniu współrzędnych XYZ wielu punktów na powierzchni poprzez wysyłanie impulsów laserowych w kierunku tych punktów i pomiar odległości od urządzenia do celu. Do zarządzania danymi i ich analizowania, ze względu na dużą ilość danych przechowywanych w chmurze punktów TLS, zwykle wymagane są pakiety oprogramowania. Chmurę punktów można przekształcić w siatkę DEM, aby ułatwić mapowanie topograficzne i analizy przestrzenne. Instrumenty TLS zwykle dzielą się na trzy kategorie w zależności od odległości, jaką światło lasera może pokonać, aby zarejestrować punkt w polu widzenia: skanery krótkiego, średniego i dalekiego zasięgu. Potencjalnym ograniczeniem metod TLS jest waga przyrządu (> 20 kg łącznie z baterią) (Ruzgienė, Berteška *et al.* 2015, Kraus, 2007).

2.2.1. Przyrządy i technologie

Leica Nova MS60 MultiStation umożliwia wieloaspektowe pomiary za pomocą jednego instrumentu, łącząc w sobie możliwości szybkiego skanowania laserowego 3D, łączności GNSS i obrazowania cyfrowego (WEB-6). *Nova MS60* charakteryzuje się dużą prędkością lasera (do 30,000 punktów na sekundę), zoptymalizowaną definicją obszaru skanowania, dostosowaniem zarządzania skanowaniem oraz ulepszoną ścieżką skanowania dla skanów zenitowych. Specjaliści ds. pomiarów mogą podejmować decyzje bezpośrednio w terenie, wykonując analizy chmur punktów, takie jak analiza płaskości itp. Dzięki skanowaniu danych *Nova MS60* pozwala przedstawiać graficznie wyniki w czasie rzeczywistym, zbierając pozycje punktów w terenie.

Skaner laserowy *Stonex X300* wyprodukowany we Włoszech to skaner 3D zaprojektowany do skutecznego opracowania wyników w każdym projekcie, w dowolnym czasie. X300 posiada dedykowaną linię akcesoriów do lepszej pracy, może być sterowany smartfonem lub tabletem, może pracować w każdych warunkach niezależnie od kurzu, wilgoci, upału czy wstrząsów (WEB-7).

3D Reshaper to oprogramowanie skanera przeznaczone dla geodetów, które może przetwarzać dane w chmurze punktów (ręczne i automatyczne filtry, scalanie, kolorowanie), wykonać siatkowanie 3D (wygładzanie, wypełnianie otworów, poprawianie granic), przetwarzać dane 3D, polilinie, powierzchnie CAD, obliczenia cyfrowego modelu powierzchni, profile podłużne, klasyfikację punktów itp. (WEB-8).

JRC 3D Reconstructor to wieloplatformowe potężne oprogramowanie do zarządzania chmurą punktów LiDAR: importuje, przetwarza i zarządza danymi z naziemnego, ręcznego, mobilnego, lotniczego skanera laserowego i łatwo integruje dane obrazowania UAV i 3D na jednej platformie.

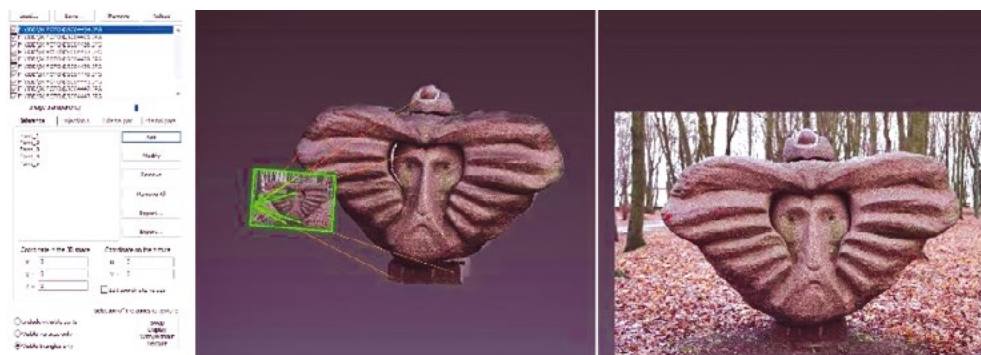
Do realizacji modelowania 3D małych obiektów architektonicznych zlokalizowanych w parku miejskim / przestrzeni publicznej wykorzystuje się nowoczesne technologie mapowe / geoinformacyjne:

- Teledetekcja (RS) – wykorzystanie zdjęć z satelitów w aplikacji *Google Earth* (jednocześnie *Street View*) do przeglądu ogólnej sytuacji badanego obiektu (WEB-3).
- Terrestrial Lidar Scanning (TLS) – skanowanie rzeźb skanerem laserowym (*Nova MS60, Stonex 300*), modelowanie 3D za pomocą oprogramowania (*3D Reshaper, JRC 3D Reconstructor*). Skaner przyspiesza przepływ pracy, łącząc technologie (obrazowanie, możliwości skanowania i łączność GNSS). Dzięki specjalistycznemu oprogramowaniu wszystkie dane pomiarowe i skaningowe mogą być wizualizowane w środowisku 3D w celu poprawienia jakości i kompletności (WEB-9).
- Systemy geoinformacyjne (GIS) – wykorzystanie aplikacji (*ArcGIS*) do tworzenia map tematycznych, pozyskiwania danych topograficznych i współrzędnych z innych źródeł danych – gmina miejska.
- Fotogrametria lotnicza – wykorzystanie ortofotomapy o dokładności 10 cm do prezentacji pozycji rzeźb i tras w parku miejskim na potrzeby publiczne.

2.2.2. Wyniki mapowania rzeźb

Park rzeźb zlokalizowany w Kłajpedzie na Litwie to plenerowa galeria sztuki, w której znajduje się 116 eksponatów o różnej tematyce oraz 6 obiektów historycznych, rozrzuconych na obszarze o powierzchni 10 ha. Park ten został wybrany ze względu na jego duże znaczenie jako pomnika przyrody i sztuki łączącego spuściznę historyczną, nowoczesne dekoracyjne rzeźby i możliwość wykorzystania jego przestrzeni publicznej do wydarzeń kulturalnych. Mapowanie obiektów parku rzeźby jest ważnym działaniem w pozyskiwaniu informacji, które można wykorzystać do budowy nowoczesnej bazy danych, dostępnej każdemu, za pomocą inteligentnych urządzeń.

Pozyskiwanie i przetwarzanie danych ze zeskanowanych 116 rzeźb i 6 obiektów historycznych zostało przeprowadzone z wykorzystaniem technologii skanowania naziemnego (TLS) za pomocą skanera laserowego *Leica Nova MS60*. Fotografie wszystkich rzeźb były robione aparatem o wysokiej rozdzielczości z czterech kierunków (po bokach, z przodu, z tyłu rzeźby), a także, w zależności od stopnia skomplikowania rzeźby, z dodatkowych ujęć. Zdjęcia te zostały wykorzystane do modelowania 3D. Oprogramowanie *3D Reshaper* zostało zastosowane do modelowania 3D wszystkich rzeźb w środowisku wirtualnym (WEB-8). Wirtualna baza geoinformacyjna znajduje się na platformach www.regia.lt lub www.mlim.lt/park (WEB-10) i jest ogólnodostępna. Modelowanie 3D wykonano w następujących etapach: import chmury punktów uzyskanych ze skanowania laserowego rzeźb; tworzenie NIP, wypełnianie luk; tworzenie prawdziwego obrazu; cieniowanie niewidocznych obszarów, generowanie trójwymiarowego modelu. Przykład rzeźby modelowanej w 3D o nazwie „Bangpūtys” wykonanej przez oprogramowanie *3D Reshaper*, przedstawiono na Rys. 2.3 i 2.4.



RYS. 2.3. Opracowanie modelu rzeczywistego obrazu: orientacja modelu rzeźby, wykorzystano 4 fotografie (Źródło: opracowanie własne, 2020)



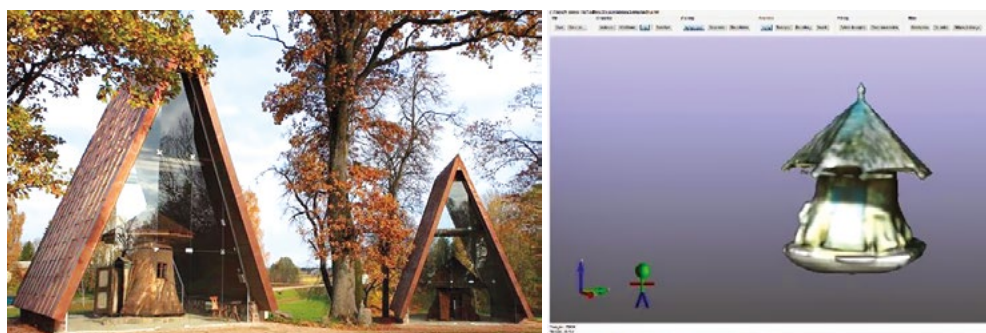
RYS. 2.4. Model 3D rzeźby „Bangpūtys” wygenerowany na podstawie danych TLS. (Źródło: opracowanie własne, 2020)

Mapa tematyczna. Opracowano również mapę tematyczną. Zestaw danych przestrzennych został utworzony za pomocą aplikacji *ArcGIS*. Ortofotomapy badanego obszaru i pomiary topograficzne ze współrzędnymi planimetrycznymi rzeźb dostarczyła gmina miejska Kłajpeda. Dane te zaimportowano w *ArcGIS*, nakładając pozycje rzeźb na ortofotomapę i konstruując mapę parku (Rys. 2.5).



RYS. 2.5. Pozycjonowanie rzeźb na ortofotomapie oraz na mapie parku rzeźb zbudowanego w technologii GIS. (Źródło: opracowanie własne, 2020)

Inne badane obiekty. Wykonano także modelowanie 3D obiektów dziedzictwa architektonicznego Baubliai, znajdujących się w Polowym Muzeum Starożytności Dionizo Poskos we wsi Bijotą na Litwie. Baubliai („Bombki”) to nazwa ponadtyśiącletnich dębów, których pnie zostały wydrążone, pokryte słomianym dachem i oparte na cementowych fundamentach – tam pisarz i historyk, przedstawiciel kultury D. Poška odpoczywał i pracował pod koniec XIX wieku. Baubliai zostały uznane za ważny, historyczny, kulturowy i starożytny pomnik kultury litewskiej. Obecnie Baubliai zabezpieczone są zadaszonymi, szklanymi osłonami.



RYS. 2.6. Muzeum z zabytkami kultury i wygenerowanym modelem 3D „Bombki” z wykorzystaniem technologii TLS. (Źródło: opracowanie własne, 2020)

Dwie z „Bombek” zeskanowano za pomocą skanera laserowego *Stonex X300* – wykorzystującego technologię TLS. Ponieważ oba obiekty znajdowały się za zamkniętą osłoną szklaną i pod dachem, procedura skanowania była skomplikowana. W obu

przypadkach ze względu na trapezoidalny kształt dachu zdecydowano się na pomiar z sześciu różnych, zlokalizowanych na zewnątrz i wewnątrz pozycji, z kątem skanowania 75–90°. Ze względu na zwężający się dach i wynikające z tej sytuacji utrudnione warunki pomiarowe, skaner laserowy musiał być podniesiony wyżej. W konsekwencji pomiary trwały pięć godzin. Modelowanie 3D obiektów wykonano przy użyciu oprogramowania *JRC 3D Reconstructor* (obróbka, ujednoczenie, korekta chmury punktów). Wygenerowany model 3D jednej z „Bombek” przedstawiono na rysunku 2.6.

2.3. Klasyczne metody modelowania 3D

To naturalne, że stare sposoby modelowania obiektów dziedzictwa kulturowego w 3D są marginalizowane przez nowe technologie. Nie można jednak zapominać o klasycznych metodach wizualizacji tych obiektów. Konstruując je, opieramy się na tradycyjnych (pomiary ręczne) i nowoczesnych (pomiary elektroniczne) technikach pomiaru. Jednak przy ich tworzeniu równie ważną, a nawet ważniejszą rolę odgrywa „wyczuć” obiektu przez autora modelu, jego wiedza, doświadczenie i wyobraźnia. Autor decyduje o hierarchii ważności elementów wchodzących w skład obiektu. Niektóre z nich są szczegółowe, inne są zamazane lub nawet usunięte. Ten rodzaj modelowania 3D, w przeciwieństwie do metod cyfrowych, niesie ze sobą dużą dozę subiektywizmu i humanizmu.

2.3.1. Rysunki odręczne 3D

Ten rodzaj modelowania 3D w porównaniu do innych metod jest zazwyczaj szybszy i prostszy, a także może powstawać w dowolnym miejscu i czasie.

Do tworzenia rysunków 3D wykorzystywane są dwie metody: rzuty równoległe i rzuty perspektywiczne (Ducki, Rokosza, Rylke, Skalski, 2003).

W pierwszej metodzie (prostszej) linie są rzutowane równoległe wzdłuż trzech różnych osi (x , y , z) pod różnymi kątami w połączeniu z poziomą linią bazową. Rozróżniamy rzuty izometryczne, elewacje ukośne i aksonometryczne rzuty ukośne.

Ten typ rysunków 3D jest łatwy do zrozumienia i można go tworzyć w dowolnej skali. Często wykorzystywany jest zarówno do prezentacji założeń urbanistycznych jak i planistycznych, a także do małych przestrzeni architektonicznych (ogrody, atria itp.) (Rys.2.7).

Rzuty perspektywiczne charakteryzują się zbieżnością linii równoległych w punktach zbiegu, umieszczonych zwykle na linii horyzontu (na wysokości oczu widza). Najczęściej używane są perspektywy jednozbiegowa i dwuzbiegowa.

a



b



RYS. 2.7. Przykłady zastosowania rzutu równoległego (Źródło: a – widok aksonometryczny centrum Białegostoku, rysunek Wojciech Matys, b – 3D street – rysunek Marek Kierklo, Kartuzy, zdjęcie Bartłomiej Gruby, WEB-11)

Tego rodzaju rysunki 3D są na ogół tworzone w dwóch głównych typach perspektyw: perspektywie liniowej i perspektywie powietrznej.

Perspektywa liniowa ma wszystkie linie zbieżne, które wydają się zmierzać w kierunku wspólnego punktu zbiegu (lub punktów zbiegów) umieszczonego na poziomie oczu linii widza (linia horyzontu) (Rys.2.8).

a



b



RYS. 2.8. Rzut perspektywiczny liniowy – przykłady (Source: a – rysunek Marta Baum, b – rysunek Wojciech Matys)

Perspektywa powietrzna opiera się na malarstwie pejzażowym. Przedstawiona przestrzeń nie jest „skonstruowana” (Wilk, 2014). Często nie ma możliwości określenia lokalizacji punktów zbiegu, a głębokość pokazana jest przez różne rozmiary obiektów (większe wydają się położone bliżej, mniejsze dalej) (Rys.2.9).

a



b



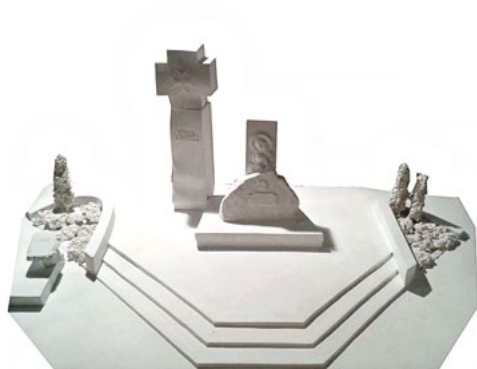
RYS. 2.9. Perspektywa powietrzna – przykłady (Source: a – rysunek Wojciech Matys, b – rysunek Marta Baum)

2.3.2. Makiety

Makieta to umowny trójwymiarowy „obraz” przestrzeni wykonany w zadanej skali lub w odpowiednich proporcjach. Umowność modelu osiągnięta jest między innymi dzięki zastosowaniu jednorodnych materiałów, zastosowaniu nieoczywistych, nieokreślonych elementów czy uproszczeniu prezentowanych przestrzeni.

Ten rodzaj modelowania 3D jest często stosowany przy tworzeniu modeli obiektów rzeźbiarskich czy też modeli dotykowych przeznaczonych głównie dla osób niewidomych (Rys. 2.10).

a



b



RYS. 2.10. Przykłady makiet (Źródło: a – model Jerzy Grygorczuk, zdjęcie W. Matys, b – zdjęcie M. Kłopotowski)

Widoki makiety są dygitalizowane za pomocą zdjęć. To samo dotyczy rysunków odręcznych, które mogą być również skanowane (także przez skanery wielkoformatowe). Zdigitalizowane makiety można wykorzystać w wizualizacjach za pomocą oprogramowania do obróbki zdjęć.

2.4. Rysunek komputerowy jako inny sposób rysowania

Znaczenie rysunku architektonicznego jako sposobu komunikacji między profesjonalistami nie podlega dyskusji. Dlatego jednym z podstawowych celów uczelni, określonych w planach studiów, jest zapewnienie studentom środków komunikacji, które są niezbędne dla ich przyszłej działalności zawodowej. To oczywiste, że praktycznie żaden ważny architekt nie zrezygnuje z języka pośredniego, czyli reprezentacji graficznej. Dlatego można śmiało powiedzieć, że medium graficzne, jakim jest rysunek architektoniczny, daje największy potencjał do studiowania całego zbioru zagadnień związanych z dyscypliną architektoniczną. Jednocześnie uczy się studentów konwencjonalnych i najnowszych technik wykonywania rysunku architektonicznego, a także przekazuje się im wiedzę niezbędną do ich wykorzystania w procesie projektowania.

Obecnie nie tylko uczy się konwencjonalnych technik, ale próbuje się, przynajmniej eksperymentalnie, pokazać każdemu uczniowi bardziej innowacyjne metody reprezentacji architektury. Tak jest w przypadku korzystania z komputerów i nowego języka BIM.

BIM (Building Information Modeling) jest nowym sposobem rysowania. W przypadku aplikacji BIM, w programach takich jak Revit, architektura jest czymś więcej niż tylko trójwymiarowym modelem z różnymi sposobami przedstawienia rozwiązań; nie wystarczy realistycznie przedstawić budynek, jest to także symulator budynków w warunkach rzeczywistych. Często porównuje się oprogramowanie AutoCAD – AutoCAD Architecture – Revit, zazwyczaj sprowadzając to uproszczone porównanie do narzędzi służących pokazywaniu rzeczywistości, zapominając o najważniejszej funkcji tego typu programów, czyli symulowaniu rzeczywistości. Poprzez pozorowanie rzeczywistości możemy dokonać lepszych wyborów na etapie projektowania, a także przedstawić wiele problemów, które pojawiają się w etapach życia budynku.

Rysunek komputerowy jest wyświetlony w 2D i 3D, ale wraz z BIM uwzględnia się nowe aspekty projektowania:

- 4D-BIM: harmonogramy
- 5D-BIM: kosztorysy
- 6D-BIM: eksploatacja budynku

BIM (Building Information Modeling – modelowanie informacji o budynku) to nowa jakość, która pojawiła się jako następny etap po użyciu standardowych architektonicznych rysunków komputerowych.

2.4.1. Wprowadzenie do druku 3D

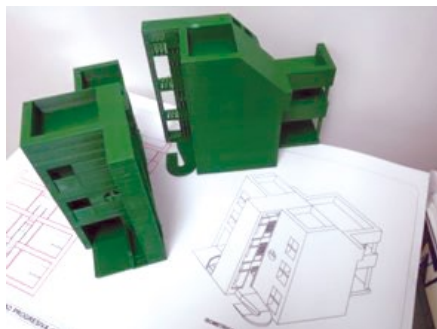
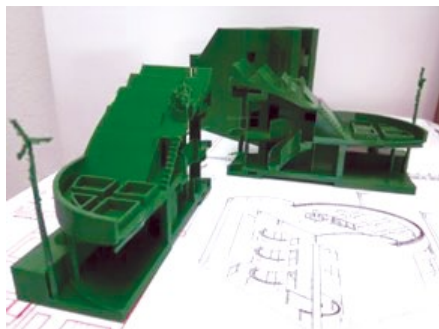
Drukarka 3D to maszyna zdolna do generowania wydruków projektów w trzech wymiarach i z różnych materiałów, poczynając od wszelkiego rodzaju substancji sypkich, poprzez niektóre tworzywa sztuczne, a kończąc na metalach. Tego typu drukarka daje możliwość tworzenia części wolumetrycznych zaprojektowanych wcześniej na komputerze.

Drukarki 3D wykorzystują wiele technologii, a my postaramy się w prosty sposób wyjaśnić, jak one działają. Otóż urządzenia te tworzą obiekt o 3 wymiarach, który jest budowany na warstwach, aż do uzyskania pożądanego kształtu.

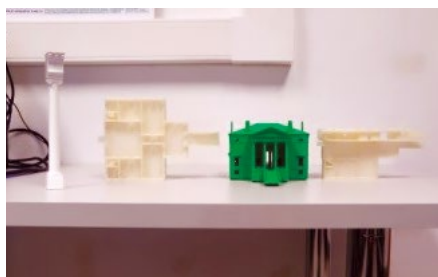
Drukarka 3D tak naprawdę sporządza projekt komputerowy 3D powstały z fizycznego modelu 3D. Innymi słowy, jeśli na przykład zaprojektowaliśmy na swoim komputerze prostą filiżankę kawy (z dowolnego programu CAD – Computer Aided Design), możemy ją wydrukować w rzeczywistości na drukarce 3D i otrzymać fizyczny produkt, który byłby właśnie tą filiżanką. Dzięki temu możemy przejść przez dokumenty fizyczne do dokumentów elektronicznych. Ogólnie rzecz biorąc, materiały używane do produkcji przedmiotów metalowych mogą być nylonem i około 100 różnymi rodzajami materiałów.

2.4.2. Wykorzystanie drukarek 3D do druku 3D w różnych sektorach: badania w UPM

Modele wykonywane są na drukarce 3D model MARKETBOT REPLICATOR TM 2 BIURKOWA DRUKARKA 3D Rys. 2.11. Na zdjęciach można zobaczyć kilka przykładów. Na Rys. 2.12. i 2.13. możesz zobaczyć modele.



RYS. 2.11. Modele wykonane na drukarce 3D Makerbot replicator tm 2 Desktop 3D Printer (Źródło: opracowanie własne, 2020)



RYS. 2.12. Modele wykonane na drukarce 3D MAKERBOT REPLICATOR TM 2 DESKTOP DRUKARKA 3D PALLADIO DOMKI VILLA CHIERICATI (Źródło: opracowanie własne, 2020)



RYS. 2.13. MakerBot Replicator 3D printer (Źródło: opracowanie własne, 2020)

Drukarki 3D są jednym z największych wynalazków XXI wieku. Dzięki nim wiele firm wprowadza innowacje w swoich produktach i zastosowanych elementach, mogąc je sprawdzić przy użyciu drukarek 3D w celu przetestowania różnych rozwiązań, rozmiarów i opcji kosztowych, otwierając miliony możliwości dla łatwej produkcji, pozwalając nawet na próby i błędy bez ponoszenia nadmiernych nakładów.

Bibliografia

1. Ducki, J., Rokosza, J., Rylke, J., Skalski, J. (2003) *Rysunek odręczny dla architektów krajobrazu*, Warszawa, Wyd. SGGW
2. Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin: Walter de Gruyter. 459
3. Linder, W. (2009). *Digital Photogrammetry. A practical Course*, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, 33–73, 121–131
4. *Manual of Photogrammetry* (Edited by J. Chris McGlone), (2004) *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Maryland, USA, 959–963
5. Ruzgienė, B.; Berteška, T.; Gečytė, S.; Jakubauskienė, E.; Aksamitauskas, V, Č. (2015). *The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. Measurement*. Oxford: Elsevier Ltd. Vol. 73, p. 619–627

6. WEB-1: *Cartography*, (2020), [Online] Available from: <https://www.britannica.com/science/cartography> [Accessed: 18.02.2020]
7. WEB-2: *Modern Cartography*, (2020), [Online] Available from: <http://www.gsdi.org/docs/2004/Cookbook/cookbookV2.0.pdf> [Accessed: 18.02.2020]
8. WEB-3: Google Earth, Street View application (2020), [Online] Available from: <https://earth.google.com/web/@55.69191266,21.17681752,11.67728544a,6495.67834488d,35y,0.00000121h,0t,0r/> [Accessed: 20.10.2020]
9. WEB-4: *Geospatial technology*, (2020), [Online] Available from <https://mapasyst.extension.org/what-is-an-orthophoto/> [Accessed: 18.02.2020]
10. WEB-5: Maps.lt (2020), [Online] Available from: <https://beta.maps.lt/?c=2362412.9%2C7500077.6&r=0&s=72223.819286&b=orto/> [Accessed: 20.10.2020]
11. WEB-6: Smart Office, (2020), [Online] Available from: <https://www.soffice.lt/produktas/technine-iranga/tacheometriai/daugiufunkciniai/MS60.html> [Accessed: 10.03.2020]
12. WEB-7: Stonex (2020), [Online] Available from: <https://www.stonex.it/project/x300-laser-scanner/> [Accessed: 15.03.2020]
13. WEB-8: Reshapter 3D, (2020), [Online] Available from: <https://www.3dreshaper.com/en/software-en/download-software/current-release-software> [Accessed: 22.03.2020]
14. WEB-9: Terrestrial Laser Scanning, (2020), [Online] Available from: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/terrestrial-laser-scanning> [Accessed: 20.01.2020]
15. WEB-10: Mažosios Lietuvos istorijos muziejus (2020), [Online] Available from: <http://www.mlimuziejus.lt/park/> [Accessed: 20.10.2020]
16. WEB-11: Kartuzy (2020), [Online] Available from: <https://kartuzy.info/zdjecie/3631957> [Accessed: 20.10.2020]
17. Wilk, S. (2014) *Construction and Design Manual Drawing for Landscape Architects*, Dom Publisher, Berlin