

**AUTOREFERAT**

**dr inż. Bartosz Mitka**

**Kraków 2018**

## Spis treści

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach dydaktyczno-naukowych.	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311 .....	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....	5
4.2. Opis osiągnięcia naukowego .....	5
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania.....	8
4.3.1. Wprowadzenie i uzasadnienie badań.....	8
4.3.2. Realizacja założonego celu badawczego.....	9
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.....	31

## 1. Imię i nazwisko

Bartosz Michał Mitka

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

2.1. Tytuł zawodowy magistra inżyniera w dyscyplinie geodezja i kartografia,

• specjalność:

- Geodezja w Gospodarce Nieruchomościami;
- Geoinformatyka i Teledetekcja;

uzyskany na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie.

Praca magisterska: „Aktualizacja opłat z tytułu użytkowania wieczystego i zarządu gruntami dla miasta Krakowa”, obroniona 10 czerwca 1998 r. – opiekun naukowy, prof. dr hab. inż. Józef Czaja

2.2. Studia podyplomowe

2.2.1. Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie, "Szkoła Wiedzy o Terenie"

- studia podyplomowe w zakresie szacowania nieruchomości - dyplom uzyskany dnia: 31.10.1997 r.

2.2.2. Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Pedagogiczny

- Kwalifikacyjne Studia Podyplomowe w Zakresie Przygotowania Pedagogicznego – dyplom uzyskany: grudzień, 2001 r.

2.3. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia uzyskany na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie.

- Praca doktorska pod tytułem „Modelowanie zużycia budynków dla potrzeb wyceny nieruchomości” – obroniona 07 lipca 2003 r.
  - Promotor: prof. dr hab. inż. Józef Czaja
  - Recenzenci: prof. dr hab. inż. Henryk Bryś  
prof. dr hab. inż. Stanisław Latoś

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach dydaktyczno-naukowych

3.1. W roku akademickim 1997/98 staż asystencki w Katedrze Informacji o Terenie na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie,

3.2. W latach 1998-2003 studia doktoranckie na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie;

3.3. W latach 2001-2004 nauczyciel przedmiotów zawodowych w Zespole Szkół Geodezyjno-Drogowych i Gospodarki Wodnej w Krakowie;

3.4. W latach 2001-2004 nauczyciel przedmiotów zawodowych w Policealnym Studium Geodezyjnym w Krakowie;

3.5. W latach 2001-2004 nauczyciel przedmiotów zawodowych w Policealnym Studium Geodezyjnym w Nowym Sączu;

- 3.6. W roku akademickim 2007/2008 wykładowca w Sąddeckiej Wyższej Szkole Zawodowej
- 3.7. Od 1 października 2006 do 31 sierpnia 2008 – adiunkt w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji - Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie,
- 3.8. Od października 2011 – adiunkt w Katedrze Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji - Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie,
- 3.9. Od 01.01.2013 do 31.12.2016, Pracownik działu badawczo-rozwojowego w TERRAMAP Sp. z o.o. odpowiedzialny merytorycznie za zagadnienia z zakresu fotogrametrii,
  - 3.9.1. zatrudniony przy projekcie: „Opracowanie automatycznego urządzenia do digitalizacji obiektów zabytkowych i przemysłowych”. Umowa o dofinansowanie realizacji projektu w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 1 Oś priorytetowa: Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.4: Wsparcie projektów celowych, nr. UDA-POIG.01.04.00-12-124/11-00
  - 3.9.2. zatrudniony przy wdrożeniu wyników projektu „Opracowanie automatycznego urządzenia do digitalizacji obiektów zabytkowych i przemysłowych”
- 3.10. Od września 2015 wykładowca na Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie, Wydział Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, przedmiot Fotogrametria,

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):**

Od początku pracy zawodowej, moja działalność związana jest z fotogrametrią bliskiego zasięgu, w szczególności z wykorzystaniem technik fotogrametrycznych i naziemnego skaningu laserowego (TLS, ang. Terrestrial Laser Scanning) w inwentaryzacji, digitalizacji i wizualizacji obiektów zabytkowych, począwszy od obiektów niewielkich rozmiarów, poprzez elementy takie jak rzeźby, czy detale architektoniczne, a na całych obiektach i ich zespołach kończąc.

Doświadczenie w powyższym zakresie zdobywałem poprzez podjęcie pracy, po ukończeniu doktoratu, w firmie fotogrametrycznej, gdzie zajmowałem stanowiska od operatora stacji fotogrametrycznej, poprzez kierownika projektów, kierownika pracowni fotogrametrii naziemnej, dyrektora działu produkcji, a na funkcji członka zarządu kończąc. Byłem również współzałożycielem, prezesem zarządu i dyrektorem zarządzającym działającej do dnia dzisiejszego kolejnej firmy działającej w szeroko pojętej branży fotogrametrycznej.

Nabyte doświadczenie produkcyjne pozwoliło mi dogłębnie poznać i zdefiniować problemy technologiczne, z jakimi spotykają się jednostki produkcyjne działające w branży fotogrametrycznej, w szczególności w zakresie opracowań będących przedmiotem prac fotogrametrii bliskiego zasięgu. Swoją wiedzę i doświadczenie wykorzystałem i w dalszym ciągu wykorzystuję w moich pracach badawczo-rozwojowych realizowanych zarówno

w trakcie pracy na uczelni, jak również w ramach realizowanych dla jednostek produkcyjnych i podmiotów publicznych usług z zakresu doradztwa technicznego.

Efektem prowadzonej przeze mnie działalności badawczo-rozwojowej jest urządzenie **RevoScan**, które jest wdrożonym do produkcji oryginalnym osiągnięciem projektowym, konstrukcyjnym i technologicznym.

#### 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Temat osiągnięcia naukowego został sformułowany następująco: *„Zaplanowanie, realizacja, wdrożenie wyników badań przemysłowych oraz prac rozwojowych dotyczących opracowania automatycznego urządzenia do digitalizacji obiektów zabytkowych i przemysłowych”*.

#### 4.2. Opis osiągnięcia naukowego

W skład osiągnięcia naukowego wchodzi - *w części dotyczącej zagadnień z zakresu fotogrametrii* - oryginalne prace projektowe, konstrukcyjne i technologiczne, zrealizowane w ramach projektu "Opracowanie automatycznego urządzenia do digitalizacji obiektów zabytkowych i przemysłowych", który uzyskał dofinansowanie w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 1 Oś priorytetowa: Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.4: Wsparcie projektów celowych. Umowa nr UDA-POIG.01.04.00-12-124/11-00.

Efektem realizacji projektu jest wdrożone w działalności komercyjnej Beneficjenta urządzenie **RevoScan** ([www.revoscan.com](http://www.revoscan.com)), które jest oferowane zarówno w sprzedaży, jak również są na nim wykonywane prace digitalizacyjne w ramach oferowanych przez Beneficjenta projektu usług.

Prace badawcze i rozwojowe w ramach projektu były prowadzone przez dział B+R Beneficjenta we współpracy (zlecenia i ekspertyzy) z podwykonawcami badań. W realizacji badań uczestniczyli następujący wykonawcy i podmioty:

- Ze strony Beneficjenta (Terramap Sp. z o.o.) – **dr inż. Bartosz Mitka**, kierownik projektu, pracownik działu B+R;
- Podwykonawcy prac badawczo-rozwojowych:
  - dr inż. Paweł Piątek, dr inż. Jerzy Baranowski – nadzór merytoryczny i analiza badań z zakresu automatyki, elektroniki i oprogramowania;
  - Antoni Rzonca Alfama Geomatics – nadzór merytoryczny i analiza badań z zakresu automatycznego przetwarzania danych geometrycznych, obrazów cyfrowych oraz modelowania i wizualizacji;
  - Igor Szelest ImagineLabs.pl Pracownia Zawartości Cyfrowej – specjalistyczne badania z zakresu automatycznego przetwarzania danych geometrycznych i obrazów cyfrowych;
  - RAINLABS S.C. Krzysztof Wesołowski, Jakub Tutro – specjalistyczne badania z zakresu automatyki, elektroniki i oprogramowania;
  - mgr inż. arch. Paweł Szelest – specjalistyczne badania z zakresu modelowania i wizualizacji obiektów;
  - Bogdan Górczyca GOBIKO.NET – badania nad modulem autokorelacji obrazów;

Załącznik nr 2a: Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

- GisMan Ryszard Bratuś – badania nad modułem triangulacji powierzchni;
- Hydro-Napęd – dostosowanie komponentów mechanicznych systemu pomiarowego.

**Zadania zatrudnionego w komórce B+R kierownika projektu dotyczyły m.in.:**

- opracowania koncepcji projektowanego urządzenia oraz szczegółowych założeń technicznych poszczególnych komponentów systemu pomiarowego;
- opracowania założeń metodyki prac badawczych i rozwojowych prowadzonych w ramach projektu;
- określania podstawowych wymagań i parametrów (jakościowych, dokładnościowych, wydajnościowych i innych) dla prowadzonych badań;
- realizacji badań prowadzonych przez Beneficjenta projektu;
- nadzoru nad prowadzonymi badaniami zlecanymi podwykonawcom i weryfikacji uzyskiwanych rezultatów;
- uczestnictwa w badaniach realizowanych przez podwykonawców projektu,
- planowania i realizacji testów prototypu;
- opracowania dokumentacji końcowej urządzenia będącego efektem realizacji projektu.

***Mój sumaryczny udział w realizacji projektu wynosi 15%.***

Efekty naukowe realizacji projektu były rozpowszechniane poprzez publikacje w czasopiśmie naukowych jak również poprzez ich prezentację na konferencjach i seminariach naukowych.

Na podstawie efektów realizacji projektu powstały poniższe publikacje:

1. Prochaska M., **Mitka B.**, 2016, ***“RevoScan Automatic Device for 3D Digitisation: Concept, Application, Test Results”***, Geomatics and Environmental Engineering, vol. 10, Nr. 4, pp 81-87;

**11 pkt.  
(9 pkt.)**

Mój udział w publikacji wynosił 80 % i polegał na udziale w pracach koncepcyjnych, projektowych oraz realizacyjnych projektu, jak również zaplanowaniu prac testowych, ich realizacji i opracowaniu wyników, a także przygotowaniu tekstu publikacji

2. **Mitka B.**, Prochaska M., Szelest P., 2017, ***“Colour management in the process of objects’ digitalization using the RevoScan device”***, Geomatics, Landmanagement and Landscape No. 1•2017, 93–104 DOI: 10.15576/GLL/2017.1.93

**6 pkt.  
(4 pkt.)**

Załącznik nr 2a: Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

Mój udział w publikacji wynosił 70% i polegał na udziale w pracach koncepcyjnych, projektowych oraz realizacyjnych projektu, oraz realizacji badań do artykułu i opracowaniu całości wyników, a także przygotowaniu tekstu publikacji

3. Bauer W., **Mitka B.**, Prochaska M., 2017, „*Evaluation of geometric quality of 3D models obtained automatically by robotic RevoScan device*”, *Pomiary Automatyka Robotyka*, ISSN 1427-9126, R. 21, Nr 2/2017, 25–30, DOI: 10.14313/PAR\_224/25

**6 pkt.**

**(5 pkt.)**

Mój udział w publikacji wynosił 80% i polegał na opracowaniu koncepcji testów urządzenia oraz ich realizacji i opracowaniu wyników, a także przygotowaniu tekstu publikacji.

Natomiast wyniki realizacji projektu zostały zaprezentowane w postaci wygłoszonych referatów na poniższych konferencjach i seminariach naukowych:

1. **Mitka, B.**, Bauer W., „*Wybrane zagadnienia matematyki w tworzeniu modeli 3D ze zdjęć*” – odczyt w ramach Seminarium Zastosowań Matematyki, Polskie Towarzystwo Matematyczne, Oddział w Krakowie, 5 kwietnia 2016
2. Prochaska M., **Mitka B.**, „*RevoScan automatyczne urządzenie do digitalizacji 3D koncepcja, zastosowania, wyniki testów*”, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowania w różnych dziedzinach gospodarki, Rzeszów-Kamionka, 8-10 czerwca 2016
3. **Mitka B.**, Prochaska M., „*Evaluation of Geometric Quality of 3D Models Obtained Automatically by Robotic RevoScan Device*” Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe, „Fotogrametria dla geoinformacji”, Wrocław, 19-21 września 2016
4. **Mitka B.**, „*Technologia automatycznego generowania fotorealistycznych modeli 3D małych obiektów z wykorzystaniem urządzenia RevoScan*”, VI Konferencja Naukowo-Techniczna, Kartografia Numeryczna i Informatyka Geodezyjna, 06-08 wrzesień 2017, Iwonicz Zdrój

### 4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

#### 4.3.1. Wprowadzenie i uzasadnienie badań

W praktyce zawodowej projekty digitalizacyjne dotyczą zarówno obiektów niewielkich, takich jak eksponaty kolekcji muzealnych (figury z porcelany, meble, tkaniny itp.), ale także całych założeń urbanistycznych. Pomiędzy tymi skrajnymi przykładami możemy wymienić naturalnie szereg obiektów o pośrednich rozmiarach: ołtarze, kaplice, kościoły, pałace, zamki, twierdze etc. Tak wielka różnorodność skali obiektów, wysoki stopień skomplikowania ich geometrii oraz dbałość o wierne oddanie kolorystyki (inwentaryzacja polichromii) stawia poważne wymagania specjalistom podejmującym się tworzenia dokumentacji zabytków.

Digitalizacja obiektów 3D w znacznym stopniu wpisuje się w dziedzinę nauki i techniki jaką jest fotogrametria bliskiego zasięgu. Jest ona rozwijana na całym świecie i wdrażaną zarówno w instytucjach kultury [1], jak i przemyśle reklamowym, filmowym czy gier komputerowych. W ramach przeprowadzonych badań w Bośni i Hercegowinie [1] stwierdzono, że ponad 70% ankietowanych uważa ideę wirtualnych muzeów za „dobrą” a 76% chciałoby mieć dostęp w ramach wirtualnych muzeów do obiektów 3D. Jednocześnie ci sami autorzy zwracają uwagę na to, że istnieją dwie główne przeszkody w tworzeniu wirtualnych kolekcji: trudność w tworzeniu wirtualnej rzeczywistości i koszty takiej technologii. Ten sam problem podnoszą również inni badacze [2] jednocześnie zwracając uwagę na problemy związane z cechami samych obiektów przeznaczonych do digitalizacji takimi jak kolor powierzchni, jej rodzaj, czy połysk. Głównym problemem jest również znalezienie proporcji pomiędzy kosztami, pracochłonnością i jakością uzyskanego efektu [2]. Rozwiązaniem powyższych problemów jest jak największa automatyzacja wykonywanych prac, wykorzystanie zaawansowanych algorytmów do pozyskiwania, orientacji, filtracji danych oraz tekstuowania uzyskanych modeli 3D [2].

W chwili obecnej proces digitalizacji zbiorów muzealnych odbywa się poprzez wykorzystanie wielu "podprocesów" z różnych dziedzin, począwszy od skanowania naziemnymi skanerami laserowymi wykorzystywanymi w przemyśle i geodezji, skanerami światła monochromatycznego i strukturalnego, manualnego pozyskania wysokorozdzielczych zdjęć cyfrowych, poprzez pracochłonną obróbkę pozyskanych danych (zdjęć i chmur punktów), optymalizację uzyskanych danych i integrację danych obrazowych z danymi geometrycznymi aż po ostateczną wizualizację obiektu i jego publikację. Wiąże się to z koniecznością wykorzystania wielu urządzeń i programów komputerowych, wielokrotnym eksportem i importem danych do i z różnych środowisk komputerowych. Jest to proces skomplikowany, wymagający wiedzy z wielu dziedzin, dostępu do różnorodnych urządzeń i oprogramowania komputerowego, a przede wszystkim pracochłonny i kosztowny. W wielu publikacjach naukowych można znaleźć propozycje rozwiązań digitalizacyjnych [2], jak i konkretne przykłady realizacji prac digitalizacyjnych [3], oraz analizę ich dokładności [4].

Istotnym elementem prac badawczych, są prace związane z automatyzacją pozyskiwania i przetwarzania danych o obiektach. Zarówno wykorzystywanie robotów, czy zautomatyzowanych maszyn pomiarowych, jak również algorytmów automatycznego przetwarzania i analizy danych pozwala podnieść wydajność prac oraz zmniejszyć koszty jednostkowe pojedynczego opracowania.

**Powyższe zagadnienia, skłoniły mnie do prowadzenia badań w zakresie prac digitalizacyjnych w celu osiągnięcia możliwie najlepszego produktu opracowania, przy jednoczesnej optymalizacji nakładów prac i kosztów niezbędnych do realizacji tego celu. Nadrzędnym celem prowadzonych przeze mnie badań, jest możliwość wdrożenia ich wyników**



w praktyce produkcyjnej. Z tego też faktu wynika realizacja większości z nich przy współpracy z różnymi podmiotami zewnętrznymi.

#### 4.3.2. Realizacja założonego celu badawczego

*Dzięki doświadczeniu zdobytemu przy realizacji wcześniejszych projektów*, w sierpniu i we wrześniu 2011 roku, na zlecenie firmy Terramap Sp. z o.o. *przygotowałem* wnioszek o finansowanie realizacji projektu w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 1 Oś priorytetowa: Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.4: Wsparcie projektów celowych. Tytuł projektu brzmiał: „*Opracowanie automatycznego urządzenia do digitalizacji obiektów zabytkowych i przemysłowych*”. Wniosek o finansowanie został złożony 30 września 2011 roku, a umowa o dofinansowanie realizacji projektu nr UDA-POIG.01.04.00-12-124/11-00 została podpisana 4 września 2012. Część badawczo-rozwojowa projektu została zrealizowana w okresie od 1 stycznia 2013 roku do 30 kwietnia 2015, natomiast część wdrożeniowa projektu od 1 maja 2015 roku do 30.04.2016 roku.

Należy podkreślić, iż w ramach prac związanych z przygotowaniem wniosku musiałem zrealizować szereg badań i analiz w zakresie:

- charakterystyki rynku usług digitalizacji;
- oczekiwań i potrzeb klientów na rynku usług digitalizacji;
- badań aktualnego stanu techniki w dziedzinie digitalizacji w szczególności w zakresie rozwiązań sprzętowych jak i informatycznych;
- badań w zakresie kierunków rozwoju technologii digitalizacyjnych, które pozwoliły na określenie innowacyjności przyjętych celów projektu;
- analiz stanu techniki i wiedzy w dziedzinach „towarzyszących” procesom digitalizacyjnym, takich jak, automatyka, informatyka, grafika komputerowa, itp.
- analiz w zakresie użyteczności proponowanego rozwiązania i możliwości jego wdrożenia w działalności Beneficjenta.

Na podstawie przeprowadzonych powyższych badań i analiz przygotowałem harmonogram prac badawczych (badań przemysłowych i prac rozwojowych) w rozbiciu na poszczególne zadania i realizowane w ich ramach czynności badań przemysłowych i prac rozwojowych. Nabyta wiedza, pozwoliła mi również zdefiniować niezbędne do realizacji projektu zasoby sprzętowe, niematerialne (oprogramowanie), jak również osobowe konieczne do wykonania poszczególnych badań i usług doradczych.

W ramach przygotowania wniosku, przeprowadziłem również analizę ryzyk dla projektu i możliwości ich minimalizacji, jak również przygotowałem niezbędne dane do kalkulacji jego kosztów.

W efekcie realizacji projektu powstało urządzenie, które zostało wdrożone w działalności Beneficjenta projektu i oferowane jest w sprzedaży pod marką **RevoScan** ([www.revoscan.com](http://www.revoscan.com)).

W realizacji projektu uczestniczyłem od samego początku jako autor wniosku o dofinansowanie, poprzez etap jego realizacji i wdrożenia w charakterze pracownika działu badawczo-rozwojowego odpowiedzialnego za realizację projektu u Beneficjenta. Również później, po zakończeniu prac wdrożeniowych w ramach projektu, pracowałem przy dalszym rozwijaniu opracowanego urządzenia. W sumie w firmie Terramap Sp. z o.o, pracowałem na stanowisku badawczo-rozwojowym 4 lata w okresie od 01 stycznia 2013 roku do 31 grudnia 2016 roku.

Zadania zatrudnionego w komórce B+R kierownika projektu dotyczyły m.in.:

- opracowania koncepcji projektowanego urządzenia oraz szczegółowych założeń technicznych poszczególnych komponentów systemu pomiarowego;
- opracowania założeń metodyki prac badawczych i rozwojowych prowadzonych w ramach projektu;
- określania podstawowych wymagań i parametrów (jakościowych, dokładnościowych, wydajnościowych i innych) dla prowadzonych badań;
- realizacji badań prowadzonych przez Beneficjenta projektu,
- nadzoru nad prowadzonymi badaniami zlecanymi podwykonawcom i weryfikacji uzyskiwanych rezultatów,
- uczestnictwa w badaniach realizowanych przez podwykonawców projektu,
- planowania i realizacji testów prototypu,
- opracowania dokumentacji końcowej urządzenia, będącego efektem realizacji projektu.

Pracując na tym stanowisku brałem udział we wszystkich pracach badawczych, przeprowadzałem analizy możliwości technicznych realizacji projektu oraz analizy planowanych funkcjonalności i proponowanych rozwiązań technologicznych urządzenia. Byłem odpowiedzialny za przygotowanie i opracowanie danych do dalszych specjalistycznych analiz, oraz za opracowanie wniosków i raportów z przeprowadzonych badań. Na podstawie raportów opracowałem końcową dokumentację projektu oraz niezbędne do rozliczenia raporty i zestawienia.

Na mój sumaryczny udział w projekcie składają się poniższe udziały w poszczególnych zadaniach i pracach badawczo-rozwojowych:

- 100% w zakresie:
  - merytorycznego opracowania wniosku o dofinansowanie;
  - opracowania założeń metodyki prac badawczych i rozwojowych prowadzonych w ramach projektu;
  - realizacji badań prowadzonych przez Beneficjenta projektu;
- 80% w zakresie:
  - określania podstawowych wymagań i parametrów (jakościowych, dokładnościowych, wydajnościowych i innych) dla prowadzonych badań;
  - planowania, realizacji oraz opracowania danych z testów prototypu urządzenia;
  - nadzoru merytorycznego i analizy badań w zakresie zagadnień fotogrametrii;
  - opracowania dokumentacji końcowej urządzenia będącego efektem realizacji projektu;
- 60% w zakresie:
  - opracowania koncepcji projektowanego urządzenia oraz szczegółowych założeń technicznych poszczególnych komponentów systemu pomiarowego;
- 40% w zakresie:
  - realizacji badań i prac rozwojowych z zakresu szeroko pojętej fotogrametrii bliskiego zasięgu;
- 5 % w zakresie:
  - realizacji badań i prac rozwojowych w pozostałych dziedzinach - mój udział polegał tutaj przede wszystkim, na udziale w pracach koncepcyjnych, określania podstawowych wymagań i parametrów (jakościowych, dokładnościowych, wydajnościowych i innych) dla prowadzonych badań, analizach uzyskiwanych

wyników, nadzorze nad prowadzonymi badaniami zlecanymi podwykonawcom i weryfikacji uzyskiwanych rezultatów.

Stosowane w czasie wnioskowania i realizacji projektu systemy prowadzenia digitalizacji obiektów zabytkowych bazowały na technikach fotogrametrii cyfrowej, naziemnego skaningu laserowego wykorzystywanego w pomiarach geodezyjnych czy inwentaryzacyjnych oraz na skanerach laserowych i światła strukturalnego wykorzystywanych w przemyśle do weryfikacji zgodności produktu z projektem. Brak dedykowanych systemów pomiarowych do digitalizacji zbiorów muzealnych o niewielkich rozmiarach, skutkowało tym, że każdorazowo firmy musiały adoptować posiadaną technologię do wykonywanych usług, co wiąże się z wydłużeniem czasu wykonywania takiego opracowania, jak i znaczną kosztownością takich działań. Dodatkowo, nie zawsze efekty w ten sposób prowadzonych prac dają zadowalające wyniki.

Stąd też powstała idea innowacyjnego rozwiązania – stworzenia mobilnego systemu, przeznaczonego do digitalizacji i wizualizacji obiektów kolekcji muzealnych o niewielkich rozmiarach.

Celem projektu było zbudowanie automatycznego, mobilnego urządzenia pomiarowego do digitalizacji obiektów niewielkich rozmiarów (do wielkości rzeźby ogrodowej) umożliwiającego pozyskiwanie i przetwarzanie danych. W trakcie realizacji projektu przeprowadzono badania przemysłowe i prace rozwojowe nad procesami automatyzacji digitalizacji zbiorów obiektów zabytkowych, z wykorzystaniem technologii cyfrowej fotogrametrii bliskiego zasięgu (w tym fotografii sferycznej) i naziemnych skanerów laserowych.

W trakcie realizacji projektu przeprowadzono innowacyjne badania nad całością procesu digitalizacji zbiorów muzealnych, począwszy od etapu pozyskania danych przestrzennych o obiekcie, poprzez proces obróbki tych danych, a kończąc na publikacji wirtualnego modelu obiektu.

Wdrożenie wyników badań poprzez skonstruowanie na ich podstawie urządzenia wraz z towarzyszącym oprogramowaniem, pozwoliło Beneficjentowi na znaczne podniesienie konkurencyjności wykonywanych usług, poprzez eliminację pracochłonnych manualnych procesów pozyskiwania i przetwarzania danych, a co za tym idzie znaczne obniżenie jednostkowych kosztów digitalizacji obiektów.

**Rezultatem projektu jest urządzenie pomiarowe do digitalizacji**, umożliwiające pozyskiwanie i przetwarzanie danych. Cechą charakterystyczną systemu jest automatyczne pozyskiwanie informacji zarówno o geometrii obiektu (digitalizacja przestrzenna) jak i informacji barwnej w przestrzeni RGB o tym obiekcie (wysokorozdzielcze zdjęcia cyfrowe). Dedykowane oprogramowanie dla urządzenia pomiarowego pozwala na sterowanie procesem pozyskania danych, przetwarzaniem pozyskanych danych i opracowanie materiału gotowego do prezentacji.

**Zaletami opracowanego systemu pomiarowego są:**

- znaczne skrócenie procesu digitalizacji;
- obniżenie kosztów jednostkowych digitalizacji;
- możliwość pracy w obiektach klienta;
- urządzenie realizujące automatycznie proces pozyskania danych i przy minimalnym udziale operatora proces obróbki danych;
- szeroka możliwość zastosowania na wielu rynkach (muzealnictwo, archeologia, reklama);
- uproszczenie procesu digitalizacji i publikacji modeli.

Realizacja projektu przebiegała w dwóch etapach: badawczo-rozwojowym i wdrożeniowym. Prace badawcze i projektowe częściowo realizowane były przez mnie w komórce B+R Beneficjenta, a część prac została zlecona naukowcom i inżynierom z dziedzin fotogrametrii, automatyki, informatyki. Prace związane z testowaniem urządzeń i rozwiązań technologicznych prowadzone były w całości w siedzibie Beneficjenta.

W urządzeniu zostały zastosowane innowacyjne i nowatorskie rozwiązania techniczne, objęte zgłoszeniami wzoru przemysłowego i patentowego wynalazku.

Realizacja projektu obejmowała 5 zadań z zakresu badań przemysłowych i 2 zadania z zakresu prac rozwojowych:

Zadanie 1: „Badania nad opracowaniem koncepcji i metodyki prowadzenia badań przemysłowych w zakresie automatycznej digitalizacji i wizualizacji 3D.” W ramach tego zadania przeprowadzono następujące czynności badań przemysłowych:

1. Opracowanie koncepcji i założeń automatycznego, mobilnego systemu do digitalizacji obiektów 3D wraz z towarzyszącym mu modułem do przetwarzania danych.
2. Badania użyteczności i funkcjonalności wybranych, dostępnych na rynku skanerów do pomiaru geometrii obiektów 3D.
  - a) fazowych skanerów laserowych;
  - b) impulsowych skanerów laserowych
  - c) skanerów 3D światła białego (strukturalnego);
  - d) skanerów 3D światła monochromatycznego (triangulacja laserowa).
3. Badania użyteczności i funkcjonalności systemów typu "Kinect" do pozyskania informacji o geometrii obiektów.
4. Badanie użyteczności i funkcjonalności systemów fotogrametrycznych do automatycznego pomiaru punktów powierzchni metodą autokorelacji.
5. Badanie użyteczności i funkcjonalności wybranych modeli aparatów cyfrowych do pozyskiwania wysokorozdzielczych obrazów cyfrowych w planowanych warunkach pozyskiwania danych (jakość obrazu, prawidłowość odwzorowania przestrzeni RGB, wielkość szumów, błędy matrycy, możliwość i zakres sterowania zdalnego aparatem).
6. Badania użyteczności i wydajności istniejących algorytmów tworzenia modeli powierzchni (mesh).
7. Badania możliwości wykorzystania środowiska programistycznego CUDA do optymalizacji procesów przetwarzania danych.
8. Badania możliwości zastosowania różnych źródeł oświetlenia fotograficznego.
9. Badania możliwości zastosowania i funkcjonalności systemów do kalibracji barw w przestrzeni RGB.
10. Badania poszczególnych komponentów systemu pomiarowego ze względu na możliwość ich integracji i całkowitej automatyzacji pomiaru:
  - a. Badanie ilości i prędkości informacji przesyłanych z poszczególnych sensorów w zależności od parametrów pozyskiwanych danych;
  - b. Badanie możliwości zastosowania mikrokontrolerów i zintegrowanych komputerów do sterowania poszczególnymi podzespołami w zależności od: rodzaju sygnałów sterujących, oprogramowania kontrolnego i ilości rejestrowanych danych.

Zadanie 2: „Badania nad rozwiązaniem problemu automatycznego pomiaru 3D geometrii obiektu”. W ramach tego zadania zostały przeprowadzone następujące czynności badań przemysłowych:

1. Szczegółowe badania dwóch najbardziej obiecujących technik/urządzeń pozyskiwania danych o geometrii obiektu, szczególności w zakresie:

Załącznik nr 2a: Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

- a. badania automatyki wykonywania pomiarów;
- b. badania parametrów dokładnościowych pomiaru geometrii;
- c. badania parametrów powtarzalności uzyskiwanych wyników;
- d. badania parametrów warunkujących uzyskanie maksymalnie kompletnej informacji o geometrii obiektu;
- e. badania wpływu cech charakterystycznych obiektów digitalizowanych na dokładność i kompletność pozyskiwanych danych;
- f. badania wpływu warunków otoczenia na dokładność i kompletność pozyskiwanych danych;
- g. badania prędkości pozyskiwania danych przy różnych parametrach dokładnościowych;
- h. badania nad optymalizacją procesu pozyskiwania danych;
- i. badania nad optymalnym formatem danych z pomiaru geometrii w celu wykorzystania ich przy modelowaniu i wizualizacji obiektów 3D;
- j. badania nad automatycznymi procesami przetwarzania danych geometrycznych (tworzenie siatki trójkątów, uzupełnianie braków, optymalizacja siatki).

Zadanie 3: „Badania nad rozwiązaniem problemu automatycznego wykonania wysokorozdzielczych barwnych obrazów cyfrowych, ekstrakcją digitalizowanego obiektu ze zdjęć i kalibracją barwną urządzenia pomiarowego”. W ramach tego zadania zostały przeprowadzone następujące czynności badań przemysłowych:

1. Badania nad automatycznym pozyskaniem wysokorozdzielczych zdjęć cyfrowych digitalizowanych obiektów.
2. Badania nad automatycznym sterowaniem oświetleniem.
3. Badania nad procesami kalibracji barwnej w przestrzeni RGB pozyskiwanych obrazów.
4. Badania nad procesami automatycznej ekstrakcji digitalizowanego obiektu ze zdjęć.
5. Badania nad pozyskiwaniem geometrii obiektu z wykorzystaniem autokorelacji obrazów.
6. Badania nad wykonaniem automatycznej prezentacji 3D obiektu z wykonanych zdjęć cyfrowych.

Zadanie 4: „Badania nad integracją w jednym urządzeniu pomiarowym systemów do pomiaru geometrii i obrazujących. Badania nad integracją pozyskanych danych cyfrowych. Badania nad modułem sterującym urządzenia”. W ramach tego zadania zostały przeprowadzone następujące czynności badań przemysłowych:

1. Badania nad integracją systemu pomiaru geometrii i systemu obrazującego w jednym urządzeniu pomiarowym.
2. Badania nad integracją pozyskanych danych geometrycznych i obrazowych.
3. Badania nad zintegrowanym modułem sterującym pracą urządzenia.
4. Badania nad modułem przetwarzania danych.

Zadanie 5: „Badania nad platformą mobilnego systemu pomiarowego”. W ramach tego zadania przeprowadzone zostały następujące czynności badań przemysłowych:

1. Badania nad opracowaniem koncepcji zintegrowanej, mobilnej, automatycznej platformy pomiarowej łączącej wszystkie komponenty.
2. Wstępny montaż komponentów urządzenia pomiarowego.
3. Badanie wzajemnego rozmieszczenia urządzeń układu pomiarowego, oświetlenia, zasilania, jednostek sterujących.
4. Kompleksowe plany zintegrowanej platformy systemu pomiarowego.



***Efektom końcowym zadania (i poprzednich) była kompleksowa dokumentacja mobilnej, automatycznej platformy pomiarowej, umożliwiająca budowę prototypu w celu weryfikacji wykonanych prac badawczych i ich wyników.***

Zadanie 6: „Testowanie prototypu mobilnego systemu automatycznej digitalizacji obiektów 3D” – zadanie zrealizowane w całości przeze mnie jako pracownika komórki B+R Beneficjenta.

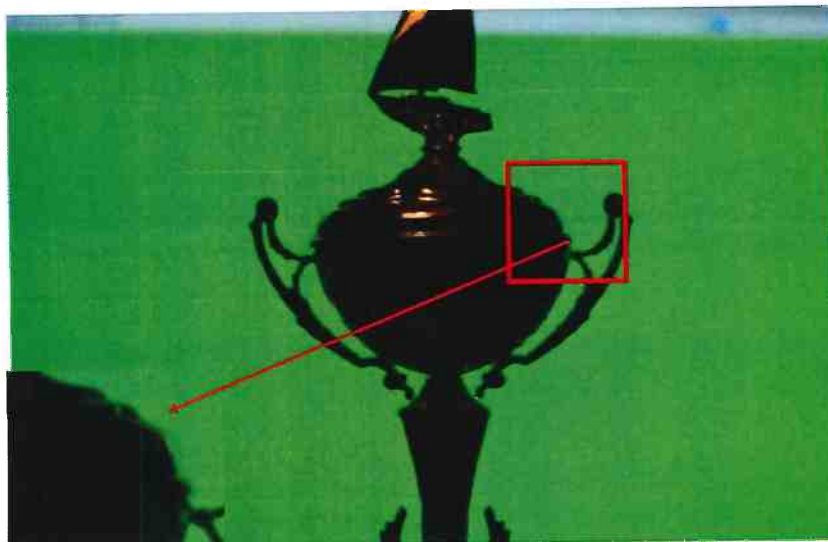
Zadanie 7: „Wykonanie dokumentacji technicznej mobilnego systemu pomiarowego”

***Realizacja projektu, zakończyła się wdrożeniem urządzenia w działalności gospodarczej Beneficjenta. Jest ono oferowane zarówno w sprzedaży, jak również na egzemplarzu Beneficjenta wykonywane są usługi prac digitalizacyjnych.***

***Szczególnym osiągnięciem naukowym, które pozwoliło na realizację założeń projektu, jest opracowana specjalnie dla projektowanego urządzenia technologia separacji fotografowanego obiektu z tła. Opiera się ona o wykorzystanie zjawiska polaryzacji światła i została zgłoszona jako wynalazek do urzędu patentowego. Zgłoszenie patentowe zostało zarejestrowane pod numerem: WYN 404917 z dnia 30.07.2013 pt.: „Sposób separacji obiektów z tła dla obrazów cyfrowych z wykorzystaniem światła spolaryzowanego i układ do realizacji tego sposobu”. Właścicielem prawa ochrony własności intelektualnej wg zgłoszenia jest: Terramap Sp. z o.o., natomiast twórcami wynalazku są: Bartosz Mitka, Igor Szelest, Paweł Szelest.***

Mój udział w opracowaniu wynalazku wynosi 80%, ***jestem pomysłodawcą*** powyższego rozwiązania, oraz ***wykonawcą*** prac badawczych realizowanych w celu weryfikacji powyższego pomysłu, jak również ***głównym autorem*** zgłoszenia patentowego.

Powszechnie stosowane do separacji obiektów z tła kluczkowanie koloru (technologia green box/blue box) charakteryzuje się wysoką wydajnością przetwarzania danych, ale w przypadku obiektów o powierzchniach błyszczących jej dokładność jest ograniczona ze względu na zjawisko powstawania „wlewek” na obiekcie, powodujących trudności z prawidłowym określeniem krawędzi obiektu (Rys.1). Dodatkowo technologia ta wprowadza dominantę barwną w obrazie cyfrowym, co jest zjawiskiem niekorzystnym z punktu widzenia procesu zarządzania barwą w procesie digitalizacji.



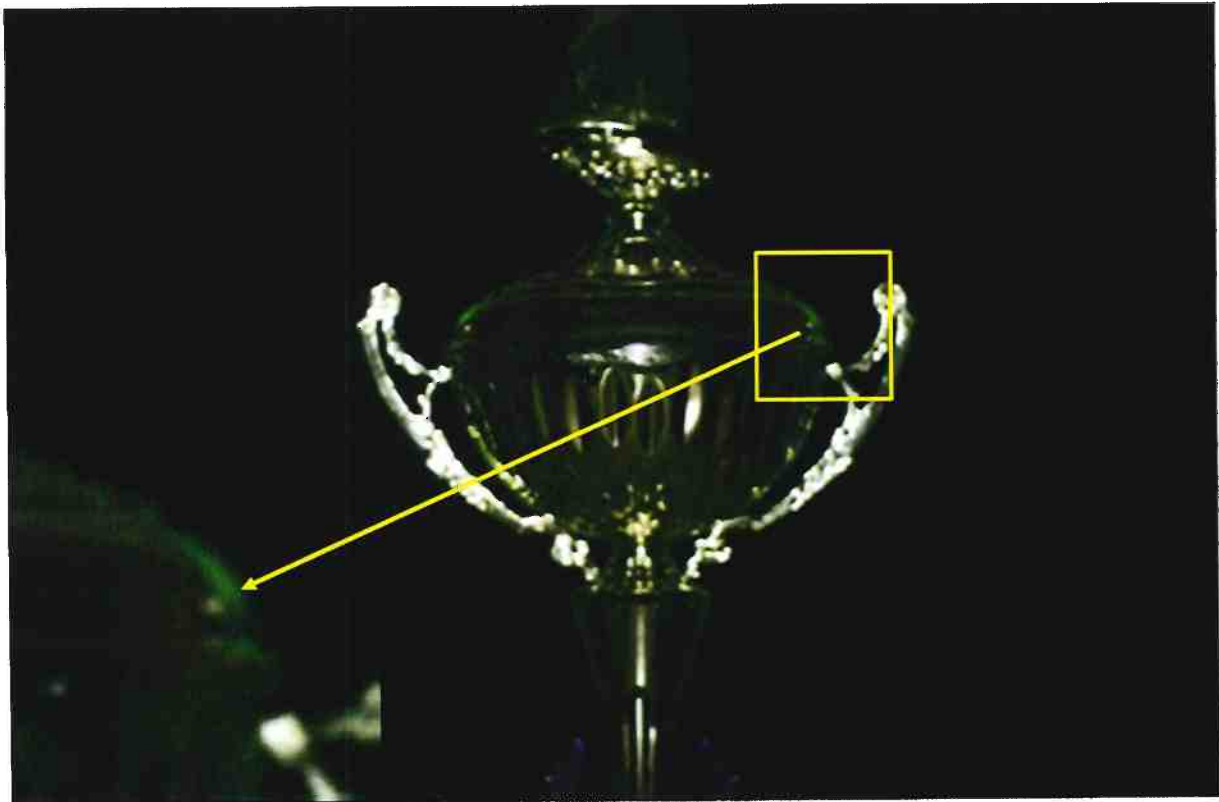
Rys. 1: Występowania zjawiska „wlewek”. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Wykorzystanie, jako tła do fotografowania, powierzchniowego źródła światła spolaryzowanego pozwala, w przypadku umieszczenia przed obiektywem aparatu filtra polaryzacyjnego na „wygaszenie” tła (Rys. 2), przy zachowaniu podobnych parametrów radiometrycznych rejestracji samego obiektu.



Rys. 2: Efekt wykorzystania wystania zjawiska polaryzacji. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Jednocześnie wykorzystanie tła będącego powierzchniowym źródłem światła spolaryzowanego eliminuje problem powstawania „wlewk” na obiekcie, gdyż światło pochodzące z tła, odbijając się od powierzchni fotografowanego obiektu ulega depolaryzacji, co pozwala na rejestrację również tych partii fotografowanego obiektu, na które „wchodzi” kolor pochodzący z tła (Rys. 3).



Rys. 3: Eliminacja niekorzystnego efektu zjawiska wlewek. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Dodatkowo należy mieć na uwadze, że technologia ta również rozwiązuje problem występowania na obiekcie koloru, takiego samego jak kolor tła w technologiach kluczowania kolorów, takich jak greenbox, czy też bluebox. Powyższy fakt, ma istotne znaczenie w pracach digitalizacyjnych, gdzie mamy do czynienia często z obiektami takie jak tkaniny, czy też ceramika o bardzo bogatej gamie kolorystycznej.

Kolejną zaletą powyższej technologii, jest to, iż umożliwia ona rezygnację z wykorzystania tła barwnego – jak ma to miejsce w przypadku wykorzystania technologii kluczowania koloru - na rzecz wykorzystania tła o białej barwie oświetlenia. W tym przypadku zastosowana technologia jest „neutralna” dla procesu kalibracji barwnej, tj. nie powoduje barwnych wlewek na obiektach błyszczących, jak i nie wprowadza dominanty barwnej w otoczenie fotografowanego obiektu.

I w końcu jeszcze jedna korzyść z zastosowania filtra polaryzacyjnego, przy pozyskiwaniu materiału digitalizacyjnego: dla obiektów o powierzchniach błyszczących (polerowane metale, powierzchnie szklone itp.) zmniejsza on efekt odbłasków, od stosowanego oświetlenia fotograficznego stałego czy też błyskowego, a więc podnosi jakość pozyskanego materiału fotograficznego.

W opracowanym, w wyniku realizacji projektu urządzeniu, w celu realizacji wykorzystania opisanego powyżej zjawiska zaprojektowano system sterowanego automatycznie ruchomego filtra polaryzacyjnego (Rys. 4).





Rys. 4: System ruchomego filtra polaryzacyjnego. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

### ***Badania działania algorytmów separacji***

Wykorzystanie przedstawionego powyżej sposobu pozyskania materiału źródłowego, pozwala na pozyskanie zdjęć w różnych kombinacjach tło – obiekt – filtr polaryzacyjny, tj. wykonanie zdjęć tła (bez obiektu digitalizowanego) przy użyciu filtra polaryzacyjnego i bez jego użycia, jak również z ustawionym przed tłem obiektem przy użyciu filtra polaryzacyjnego i bez jego wykorzystania. Pozyskane w ten sposób obrazy są materiałem wyjściowym dla algorytmów separacji obiektu z tła.

W ramach projektu przeprowadzono cały szereg badań w zakresie wykorzystania algorytmów separacji obiektów z tła, dla obrazów pozyskanych z wykorzystaniem zjawiska polaryzacji, rozwiązując między innymi problemy odbić obiektu w stoliku urządzenia, czy też usunięcia artefaktów pochodzących chociażby od krawędzi szklanego blatu urządzenia.

W celu zbadania skuteczności zaproponowanej metody separacji obiektów z tła wykonano porównanie wyników różnych algorytmów separacji tła z maską wzorcową obiektu, uzyskaną w wyniku separacji ręcznej. Miarę skuteczności działania danego algorytmu zdefiniowano jako procentową zgodność pikseli maski obiektu uzyskanej przy wykorzystaniu danego algorytmu z maską wzorcową przygotowaną manualnie (Rys. 5).

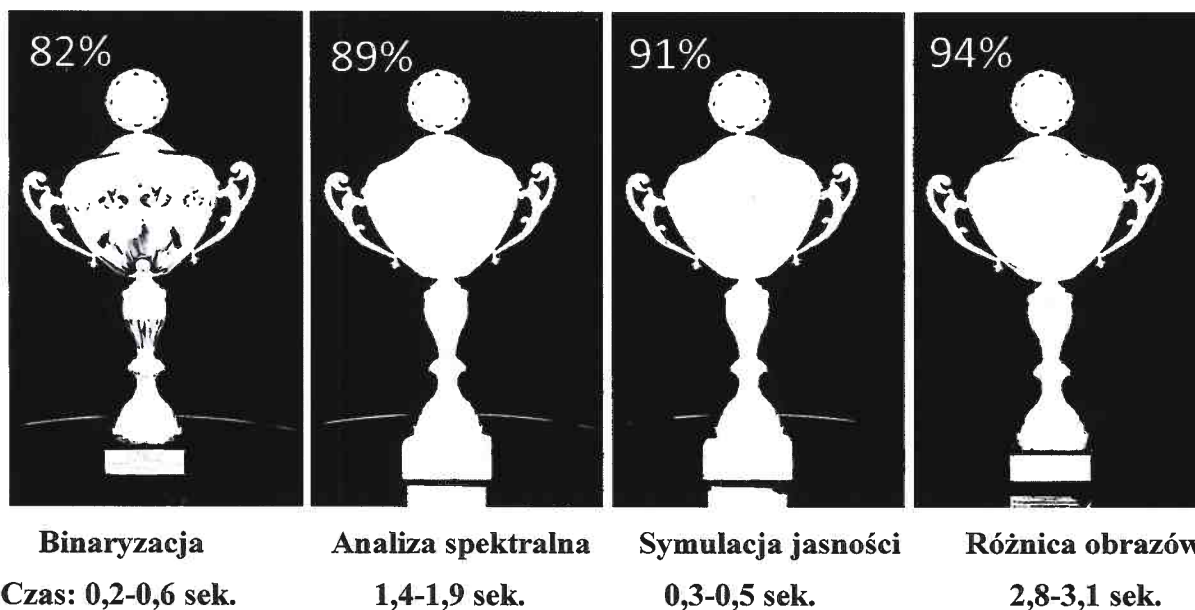


Rys. 5: Zdjęcie i maska wzorcowa dla badania skuteczności algorytmów separacji. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

W procesie przeglądu procedur analizy obrazu wybrano do eksperymentów następujące algorytmy:

- binaryzacja z użyciem filtra dolnoprzepustowego
- wykorzystanie różnicy obrazów wykonanych przy użyciu filtra polaryzacyjnego
- badanie różnicy jasności między tłem a obiektem, przy użyciu algorytmów wyznaczających luminancję pikseli
- wykrywanie tła o znanym typie oświetlenia, przy użyciu algorytmów symulujących analizator spektralny w przestrzeni RGB

Rysunek 6 (Rys. 6) przedstawia wyniki implementacji wybranych powyżej algorytmów separacji dla przygotowanego materiału badawczego, zawierające procentową zgodność uzyskanej maski z maską wzorcową, i porównanie czasów pracy algorytmu na takiej samej platformie sprzętowej.



Rys. 6: Graficzne przedstawienie wyników działania algorytmów separacji obiektu z tła. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Uzyskane wyniki działania algorytmów potwierdziły skuteczność zaproponowanej metody i były podstawą przygotowania zgłoszenia patentowego dla zaproponowanego rozwiązania. W trakcie realizacji kolejnych badań w projekcie poprawiono efektywność działania algorytmów.

W tym miejscu, należy zaznaczyć, że **jestem pomysłodawcą** powyższego rozwiązania, oraz **współwykonawcą** prac badawczych realizowanych w celu weryfikacji powyższego pomysłu, (wykonawcą badań w zakresie testów rozwiązania w programach do obróbki obrazu był mgr inż. arch. Paweł Szelest, natomiast za implementację i testowanie algorytmów odpowiedzialna była firma ImagineLabs.pl Igor Szelest), jak również **głównym autorem** zgłoszenia patentowego.

#### Podsumowanie realizacji projektu

W efekcie realizacji projektu powstał cykl publikacji - których jestem **głównym współautorem** - prezentujących efekty projektu. Efekty realizacji projektu zostały również przedstawione w postaci referatów na seminariach i konferencjach naukowych.

Pierwszą z publikacji dotyczących projektu jest publikacja **“RevoScan Automatic Device for 3D Digitisation: Concept, Application, Test Results”** [5]. W opracowaniu tym

przedstawiono założenia przyjętych w wyniku prac koncepcyjnych głównych funkcjonalności urządzenia:

- automatyczne pozyskanie zestawu wysokorozdzielczych zdjęć cyfrowych obiektu (rozmiar piksela terenowego 0,1 – 0,3 mm) z zapisanymi w postaci metadanych informacjami o kalibracji aparatu i georeferencji zdjęć;
- automatyczna separacja obiektu z tła, odporna na efekt „wlewek” na obiektach błyszczących;
- system zarządzania barwą w procesie pozyskania i obróbki zdjęć;
- szybka, automatycznie generowana wizualizacja obiektu w postaci zestawu dookólnych wyseparowanych zdjęć obiektu w zakresie 0 - 90 stopni;
- dołączenie do wizualizacji informacji z karty obiektu w przypadku obiektów muzealnych;
- automatyczne tworzenie metrycznego modelu 3D obiektu w postaci siatki „mesh” z możliwością nadzorowania procesu przez wykwalifikowanego operatora;
- automatyczne teksturowanie uzyskanego modelu 3D z możliwością nadzorowania procesu przez wykwalifikowanego operatora.

W publikacji przedstawiono również, główne elementy składowe gotowego, zbudowanego przez Beneficjenta urządzenia, które następnie znalazło nabywcę. Składa się ono z następujących komponentów (Rys. 7):

- obrotowego stolika ze szklanym blatem (Rys. 7a i 7c, element A);
- dwóch kolumn pomiarowych, umożliwiających ruch aparatu w płaszczyźnie poziomej i pionowej (Rys. 7a i 7b, elementy B1 i B2);
- głowicy aparatu z możliwością ustawienia kąta nachylenia aparatu względem stolika (Rys. 7b, element C);
- aparatu cyfrowego z ruchomym filtrem polaryzacyjnym (Rys. 7d, element D);
- tła będącego źródłem światła spolaryzowanego (Rys. 7a, 7c, 7d, element E);
- namiotu bezcieniowego (Rys. 7d, element F);
- zestawu oświetlenia fotograficznego stałego lub błyskowego (Rys. 7a, 7b, element G);
- modułu sterującego pracą urządzenia (sterowniki serwonapędów i silników krokowych) (Rys. 7b., element H);
- oprogramowania sterującego pozyskaniem i przetwarzaniem danych;



a)

b)



c)



d)

Rys. 7 Widok urządzenia. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Przedstawiony w publikacji, sterowany komputerowo stół obrotowy ze szklanym blatem o średnicy 800 mm umożliwia umieszczanie na nim obiektów o maksymalnym wymiarze poziomym 600 mm i wysokości 1000 mm oraz wadze do 50 kg. Użyty system sterowania i kontroli położenia blatu umożliwia ustawienie dowolnej sekwencji kątowej dla stolika w zakresie 0 – 360 stopni.



Kolumny pomiarowe zbudowane są ze stali, aluminium i elementów drukowanych technologii 3D. Wraz z głowicą aparatu umożliwiającą pochylenie osi obiektywu względem blatu stolika umożliwiają przyjęcie przez aparat dowolnego położenia w przestrzeni względem digitalizowanego obiektu. Dzięki swojej konstrukcji, sztywnemu połączeniu ze stolikiem i precyzyjnemu sterowaniu, kolumny zapewniają realizację zadanego położenia aparatu w przestrzeni z wysoką dokładnością. W efekcie, przy pracy ze skalibrowanym zestawem fotograficznym (obiektyw + aparat) otrzymuje się dla każdego zdjęcia znane elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej, co przekłada się na szybkość przetwarzania danych i jakość uzyskiwanych wyników modelowania 3D.

Opisane w publikacji urządzenie zostało wyposażone w aparat cyfrowy Nikon D800 z matrycą o rozdzielczości 36 Mpix i zestawem obiektywów stałogniskowych o długości ogniskowych 28 mm, 35 mm, 50 mm, 85 mm, 105 mm. Minimalna odległość fotografowania ograniczona jest zdolnością ostrzenia zastosowanego obiektywu. Układ geometryczny stolika, kolumn pomiarowych i głowicy aparatu zapewnia możliwość wykonania zdjęć w dowolnym położeniu w półsferycznej przestrzeni od poziomu blatu stolika do punktu zenitalnego znajdującego się w osi jego obrotu.

### ***Oprogramowanie sterujące pracą urządzenia***

Urządzenie w konfiguracji bazowej dokonuje pomiaru rzeczywistych obiektów w postaci sekwencji fotografii sferycznej, cylindrycznej lub eliptycznej w zależności od geometrii digitalizowanego obiektu i zdefiniowanego przez operatora „planu nalotu”. Możliwe jest również manualne zdefiniowanie położenia aparatu dla pojedynczego zdjęcia w zakresie obszaru roboczego. Opcjonalnie możliwy jest również obrót kolumny pionowej o 90 stopni i pozyskanie zdjęć w klasycznym układzie fotogrametrycznym z zadanym pokryciem podłużnym lub poprzecznym. Opcja ta może być wykorzystywana dla digitalizacji obiektów takich jak malowidła czy płaskorzeźby położone na stołach czy wiszące na ścianach.

Oprogramowanie sterujące pracą urządzenia posiada następujące funkcjonalności:

- moduł zarządzania projektem – oprogramowanie własne, zintegrowane w systemie;
- moduł przechowujący dane kalibracji aparatu – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;
- moduł przygotowania projektu wykonania zdjęć – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;
- moduł sterowania parametrami ekspozycji zdjęć – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;
- moduł sterowania wykonaniem zdjęć – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;
- moduł kalibracji koloru – działający w oparciu o oprogramowanie zewnętrzne, zintegrowane z oprogramowaniem własnym;
- automatyczny moduł separacji obiektów z tła – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;
- automatyczny moduł wizualizacji obiektu – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;
- moduł metadanych obiektu – oprogramowanie własne zintegrowane w systemie;

Dodatkowo dla urządzenia opracowane zostały własne pakiety oprogramowania służące do budowy na podstawie pozyskanego materiału modeli 3D digitalizowanych obiektów.

### *Wyniki wstępnych testów urządzenia*

W ramach prowadzonych badań i prac rozwojowych przeprowadzono szereg testów prototypu urządzenia zarówno w zakresie mechaniki, sterowania, oprogramowania sterującego pracą urządzenia, jak i oprogramowania do przetwarzania danych. Proces pozyskiwania danych, tworzenia masek obiektu i wstępnej wizualizacji dla prototypu trwał dla jednego obiektu od 60 do 120 minut w zależności od stopnia skomplikowania jego geometrii i ilości zaprojektowanych zdjęć. Proces separacji obiektu z tła dla większości obiektów przebiega prawidłowo, a uzyskiwane maski są pozbawione błędów i artefaktów (Rys. 8).



Rys. 8. Maska obiektu i automatycznie wyseparowany obiekt z tła. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Przeprowadzone testy opracowanego w ramach badań oprogramowania do przetwarzania danych potwierdziły jego skuteczność zarówno w zakresie generowania gęstej chmury ze zdjęć, modelu w postaci siatki trójkątów jak i oteksturowanego fotorealistycznego modelu 3D (Rys. 9).



Rys. 9. Wyniki działania algorytmów budowy modelu 3D zaimplementowanych w ramach przeprowadzonych badań. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Równoległe do testów z własnym oprogramowaniem wykonano testy wykorzystania oprogramowania Agisoft PhotoScan Professional do generowania modeli 3D na podstawie zestawu danych pozyskanych przez prototyp urządzenia. Dla pozyskanych danych przygotowano w pełni automatyczny proces obróbki z wykorzystaniem pliku wsadowego. Jakość wygenerowanych modeli 3D (Rys. 10) uprawnia do stwierdzenia że: „**Opracowano urządzenie do w pełni automatycznej digitalizacji obiektów 3D**”.



Rys. 10. Modele 3D automatycznie wygenerowane na podstawie danych z urządzenia. Źródło: Akademia Sztuk Pięknych w Krakowie

Kolejną publikacją obejmującą prace zrealizowane w ramach projektu jest publikacja dotycząca problematyki zarządzania barwą w procesie digitalizacji pt.: ***“Colour management in the process of objects’ digitalization using the RevoScan device”*** [6]

Problematyka zarządzania barwą jest niezwykle istotnym elementem procesu digitalizacji kolekcji muzealnych. Ekspertsi powołani przez Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów w swoim opracowaniu pt. *„Cyfrowe odwzorowanie muzealiów – parametry techniczne, modelowe rozwiązania”* [7] zwracają uwagę że, *„Muzea, opiekując się kolekcjami malarstwa, rzeźby, sztuki użytkowej oraz wszelkich przedmiotów związanych z szeroko pojętą kulturą materialną, muszą podjąć na etapie dokumentacji o wiele trudniejsze wyzwanie. [...], muszą nie tylko udostępnić informacje dotyczące przechowywanego zasobu, ale także umożliwić odbiór estetyczny jego elementów.”* Ci sami autorzy zwracają uwagę na fakt, iż ze względu na konieczność rejestracji niuansów kolorystycznych obiektu muzealnego i umożliwienia ich dostrzeżenia przez użytkownika dokumentacji problem zarządzania barwą jest jednym z najbardziej wymagających obszarów działań digitalizacyjnych [7].

Matematyczne podstawy zagadnień barwnej kalibracji monitorów, skanerów, drukarek i aparatów cyfrowych przedstawili w swojej pracy Vrhel i Trussel [8]. Problem kalibracji barwy przetwarzanych obrazów w procesie digitalizacji poruszają również w swoim opracowaniu Boiangiu i Ștefănescu [9], zwracając uwagę na fakt, że nawet w profesjonalne urządzenia do przetwarzania obrazów wymagają kalibracji. Jednym z istotnych zagadnień procesu zarządzania barwą jest możliwość jego automatyzacji na różnych etapach procesu przetwarzania obrazów [10].

#### ***Podstawowe zagadnienia zarządzania barwą***

Problematyką barwy, jej postrzegania, sposobami zapisu, a także fotometrią i kolorymetrią zajmował się w swoich publikacjach G. Wyszecki, np. [11]. Jak podaje w swojej książce *„Barwa w grafice komputerowej”* W. Pastuszek [12] *„Każdą barwę można w pełni i jednoznacznie zdefiniować trzema atrybutami: kolorem (odcieniem, walorem), nasyceniem i jasnością”*. Tak więc pojęcie barwy jest szersze niż koloru, chociaż w potocznym użyciu funkcjonują one zamiennie. Kolor zatem, według autora, jest jednym z atrybutów barwy. Ważnym aspektem zagadnienia jest również fakt podkreślany przez tego samego autora, że

każdy postrzega barwy w inny sposób. Na problem definicji barwy i koloru zwraca również uwagę w swoich wykładach pt. „Problem barwy i koloru” J. Tarasiuk [13].

Przestrzeń barw (gamut) określa natomiast możliwości reprodukcji barw przez określone urządzenia takie jak aparaty cyfrowe, monitory, drukarki itp. Można ją również zdefiniować niezależnie od urządzenia [13]. Przestrzeń barw jest matematycznym – trójwymiarowym – modelem widma fal elektromagnetycznych w zakresie 380 – 780  $\mu\text{m}$ . W procesie digitalizacji stosuje się dwa podstawowe modele przestrzeni barwnej: AdobeRGB oraz sRGB. Model sRGB został opracowany na potrzeby publikacji internetowych przez firmę Microsoft w 1996 roku, jest możliwy do odwzorowania przez większość monitorów. Model AdobeRGB jest bardziej zbliżony do możliwości ludzkiego oka, dlatego też zalecany jest do wykorzystania przy zastosowaniach profesjonalnych [7]. Jednakże, należy zwrócić uwagę, że tylko monitory profesjonalne, dedykowane do prac graficznych są w stanie odwzorować pełny zakres modelu AdobeRGB.

Kalibrację barwną przeprowadza się poprzez zastosowanie w procesie wywoływania zdjęcia odpowiedniego modelu i przestrzeni barw. Dla celów skutecznego zarządzania barwą w procesie obróbki obrazów cyfrowych wykorzystuje się profile barwne ICC (ang. „International Color Consortium”). ICC jest to system zarządzania barwami, który pozwala parametryzować urządzenia peryferyjne używane do tworzenia obrazów (drukarki, skanery, ekrany, cyfrowe aparaty fotograficzne) po to, by barwy obrazu wydrukowanego były wierne oryginałowi. Profile powstają w wyniku pomiarów barw, jakie pokazują konkretne urządzenia. Do stworzenia profilu, a tym samym kalibracji barwnej zdjęcia można wykorzystać wzornik koloru i dedykowane oprogramowanie do tworzenia profilu barwnego.

Jeżeli w aparacie cyfrowym wybierzemy format zapisu RAW, to pliki pojawiające się na karcie pamięci czy na dysku komputera nie są jeszcze właściwie zdjęciami. Są to surowe dane zebrane w czasie naświetlania światłoczułej matrycy aparatu oraz metadane dotyczące ustawień aparatu w momencie wykonania zdjęcia. Po zrobieniu zdjęcia istnieje możliwość jego „wywołania” tj. modyfikacji balansu bieli, skorygowania ekspozycji, nasycenia kolorów czy wyboru intensywności kontrastu. W profesjonalnym przetwarzaniu zdjęć niezbędna jest kalibracja barwna zdjęcia, gwarantująca uzyskanie wiernego odwzorowania obiektu.

Integralnym składnikiem zbudowanego urządzenia jest stacja graficzna HP Z420, wraz z dwoma 24” monitorami graficznymi HP ZR2440w o rozdzielczości 1920x1200 pikseli wykonanymi w technologii IPS. W celu maksymalnie wiernego odwzorowania barw monitory te zostały skalibrowane przy pomocy spektrofotometru Xrite i1 Pro z uwzględnieniem oświetlenia otaczającego stanowisko pracy operatora.

Zarządzanie barwą w procesie pozyskiwania i obróbki danych umożliwia moduł ekspozycji zdjęć, pozwalający na sterowanie z poziomu aplikacji urządzenia między innymi ustawieniami balansu bieli aparatu. Manualne ustawienie parametru temperatury barwowej stosowanego oświetlenia, na etapie pozyskiwania materiału źródłowego jakim są zdjęcia w formacie RAW, pozwala na pozyskanie danych o barwie maksymalnie zbliżonej do barwy rzeczywistej. Jednocześnie wykonywana procedura kalibracyjna stosowana w trakcie pomiaru obejmuje między innymi rejestrację zdjęć zawierających wzornik kolorów firmy X-RITE.

#### ***Zastosowana procedura kalibracji barw w urządzeniu RevoScan***

Zasadność używania dedykowanego dla każdego obiektu indywidualnego profilu barwnego pokazuje test polegający na wywołaniu tego samego zdjęcia przy użyciu różnych profili. Poniżej na rysunku nr 10 (Rys. 10) przedstawiono efekt wywołania zdjęcia zapisanego w formacie RAW pochodzącego z aparatu Nikon D800 (ISO 100, f/16, 1s, 35mm) przy użyciu zapisu przestrzeni barw AdobeRGB dla następujących profili barwnych ICC: Adobe Standard,



(Rys. 11a) , CameraStandard (Rys. 11b) oraz dedykowanego profilu otrzymanego na podstawie wzornika X-Rite (Rys. 11c). Zdjęcia wywołano w aplikacji CameraRaw 9.1 będącej dodatkiem do oprogramowania Adobe Photoshop CS6.



Rys. 11: a) strona lewa: zdjęcia wywołane z profilem Adobe Standard, b) środek: zdjęcie wywołane z profilem Camera Standard, c) strona prawa: zdjęcie wywołane z profilem wykonanym na podstawie wzornika. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Stosunkowo nieduże różnice wizualne pomiędzy zdjęciami widoczne na wydruku wynikają z prawidłowego ustawienia balansu bieli i niskiej zdolności odwzorowania barw w przestrzeni RGB przez urządzenia drukujące. Na skalibrowanym barwnie monitorze graficznym różnice w tonach poszczególnych barw są znacznie bardziej zauważalne.

W urządzeniu RevoScan stosowana jest następująca procedura kalibracji i kontroli barw uzyskiwanych modeli 3D:

Po ustawieniu obiektu na stoliku urządzenia, ustawiane są lampy fotograficzne (światła ciągłego lub błyskowe) w celu uzyskania jak najbardziej równomiernego oświetlenia na obiekcie z wykorzystaniem namiotu bezcieniowego.

W module sterującym pracą aparatu ustawiane są parametry ekspozycji zdjęć tj. odległość ostrzenia, wielkość przysłony, czas ekspozycji, czułość matrycy i balans bieli. Dla parametru balans bieli ustawiana jest temperatura barwowa w zależności od temperatury barwowej zastosowanych lamp.

Wykonywany jest zestaw zdjęć kalibracyjnych zawierających wzornik kolorów i wzornik geometryczny do kalibracji i weryfikacji uzyskanej geometrii obiektu.

Zdjęcie ze wzornikiem koloru zapisywane jest do formatu Digital Negative. DNG to otwarty, bezstratny format zapisu cyfrowych negatywów, zawierających nieprzetworzone dane z matrycy cyfrowej (RAW), opracowany przez Adobe Systems. Dysponując zdjęciem w formacie DNG można wykorzystać oprogramowanie dostarczone wraz z wzornikiem koloru do tworzenia profilu barwnego. Otwarty format doskonale sprawdza się jako uniwersalny sposób na archiwizację nieobrobionych zdjęć.

Przy wykorzystaniu oprogramowania Colorchecker Passport tworzony jest i zapisywany profil barwny dla digitalizowanego obiektu.

Kolejnym krokiem jest wywołanie wszystkich zdjęć źródłowych. Jest to realizowane w jednym procesie przy pomocy oprogramowania Adobe Photoshop CS6 z wtyczką Camera Raw 9.1. Wszystkie pliki źródłowe RAW (dla aparatów firmy Nikon posiadają rozszerzenie NEF) po wywołaniu zostają zapisane do formatu JPG i stanowią podstawę wygenerowania fotorealistycznego modelu 3D. Ze względu na ilość pozyskiwanych zdjęć w procesie obróbki danych nie wykonuje się już ręcznych poprawek kalibracji poszczególnych zdjęć źródłowych.

Ostatnim etapem weryfikacji barw modelu 3D digitalizowanego obiektu, jest porównanie jego fotorealistycznego modelu 3D z oryginałem przy odpowiednio dobranych parametrach wyświetlania silnika renderującego. Doświadczenia praktyczne na wykonanych do tej pory kilkudziesięciu modelach 3D pokazują, że przy prawidłowo ustawionym oświetleniu, balansie bieli i wykonanej kalibracji barwnej w oparciu o indywidualnie generowany profil barwny uzyskuje się modele 3D w zadowalający sposób odpowiadające barwom oryginału

### ***Badania nad możliwością automatyzacji procesu pozyskiwania skalibrowanego barwowo zdjęcia***

Przedstawiona powyżej procedura kalibracji barwnej materiału fotograficznego pozyskiwanego na potrzeby modelowania 3D obiektów w dużej mierze opiera się o czynności manualne wymagające udziału operatora urządzenia. Dążąc do maksymalnej automatyzacji wszystkich czynności związanych z procesem digitalizacji obiektów trójwymiarowych, w ramach projektu przeprowadzono również badania i testy możliwości automatyzacji kalibracji barwnej.

W opisywanej publikacji podano procedurę automatyzacji tego procesu opracowaną w ramach przeprowadzonych badań. Cały proces musi być uporządkowany, tzn. zdjęcia RAW, wywołane do TIFF lub JPEG oraz profile barwne powinny znajdować się w odpowiedniej strukturze katalogów.

Ostateczną oceną przydatności do prac digitalizacyjnych zbudowanego w ramach projektu urządzenia było wykonanie testów jakości geometrycznej modeli 3D uzyskiwanych przy jego wykorzystaniu. Procedurę testów i uzyskane wyniki zawarto w publikacji: „*Evaluation of geometric quality of 3D models obtained automatically by robotic RevoScan device*”.

### ***Przebieg eksperymentu***

W celu oceny jakości geometrycznej, uzyskanych automatycznie przez urządzenie modeli 3D wykonano, dla wybranych obiektów, pomiary referencyjne. Pomiary te zostały zrealizowane na dwa sposoby:

- po pierwsze wykonano pomiar geometrii obiektów testowych za pomocą ręcznego skanera 3D ArtecEva o rozdzielczości 3D do 0,5 mm i dokładności 3D położenia punktu do 0,1 mm;
- po drugie wykonano bezpośredni, manualny pomiar wymiarów charakterystycznych obiektów testowych z wykorzystaniem suwmiarki o dokładności pomiaru do 0,02 mm.

Uzyskane modele 3D z urządzenia REVOSCAN i skanera 3D ArtecEva wpasowano w siebie, a następnie porównano przy użyciu narzędzi dostępnych w oprogramowaniu Geomagic Qualify w modułach Alignment i Analysis. Natomiast wyniki manualnych pomiarów, wymiarów charakterystycznych obiektów, porównano z wynikami pomiarów tych samych cech zrealizowanymi na uzyskanych modelach 3D z urządzenia RevoScan.

### ***RevoScan - obiekty testowe i sposób uzyskania prawidłowej geometrii***

Jako obiekty testowe do przeprowadzonych badań wybrano przedmioty o różnych kształtach i rozmiarach wykonane z różnych materiałów takich jak stal, drewno, brąz, itp. oraz o różnych fakturach powierzchni (Rys. 12). Ogółem w celach weryfikacji jakości pozyskiwanej geometrii pomiarom, modelowaniu 3D i testowaniu uzyskanej geometrii poddano 8 różnych obiektów. Na rysunku poniżej (Rys. 12) przedstawiono zrzuty ekranowe – wybranych - uzyskanych modeli 3D obiektów różnego typu.



Rysunek 12: Wybrane obiekty testowe: lewa strona – skrzynka drewniana (obiekt nr 6), środkowa – skrzynka metalowa (obiekt nr 5). prawa strona – odlew z brązu (obiekt nr 1). Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

W celu zapewnienia metryczności i prawidłowej geometrii wygenerowanych modeli 3D, w trakcie pozyskiwania zdjęć przez urządzenie są zapisywane współrzędne poszczególnych położenia aparatu w układzie stolika oraz jest wykonywany dodatkowy zestaw zdjęć zawierających obiekty kalibracyjne o ściśle określonej geometrii (Rys. 13). Początek układu współrzędnych urządzenia zdefiniowany jest w osi obrotu blatu stolika. Współrzędna Z przyjmuje wartość 0, dla górnej powierzchni blatu. Kierunek osi X jest zgodny z kierunkiem poziomej kolumny pomiarowej urządzenia, a zdefiniowany układ współrzędnych jest układem matematycznym.



NR	X	Y	Z
photoNoFilter_0_0.jpg	0,7500	0,0000	0,1500
photoNoFilter_0_1.jpg	0,7386	0,1302	0,1500
photoNoFilter_0_2.jpg	0,7047	0,2565	0,1500
photoNoFilter_0_3.jpg	0,6495	0,3750	0,1500
photoNoFilter_0_4.jpg	0,5745	0,4820	0,1500
.			
.			
.			
.			
.			
.			
photoNoFilter_1_35.jpg	0,7386	-0,1302	0,6803

Rys. 13 Obiekt kalibracyjny i zestaw współrzędnych pozyskanych zdjęć w układzie stolika. Źródło: wyniki badań, TERRAMAP Sp. z o.o.

Użycie w procesie przetwarzania zdjęć znanych środków rzutów zdjęć oraz wykorzystanie wymiarów obiektu kalibracyjnego, pozwala uzyskiwać modele 3D o wymiarach maksymalnie zbliżonych z wymiarami rzeczywistymi obiektu. Modele 3D uzyskane na podstawie danych

pozyskanych z urządzenia RevoScan zostały wyeksportowane do formatu OBJ w celu przeprowadzenia badań weryfikacji ich geometrii.

### ***Wzajemne dopasowanie modeli 3D***

Modele 3D uzyskane skanerem ArtecEva opracowano w dedykowanym do skanera oprogramowaniu Artec Studio 10 Professional, a następnie wyeksportowano do formatu OBJ.

Wynikowe modele 3D z urządzenia RevoScan i skanera ArtecEva zostały wczytane do oprogramowania Geomagic Qualify 2013. Następnie wykonano ich wzajemne dopasowanie przy użyciu modułu Alignment z wykorzystaniem funkcji Best Fit Alignment. Poniżej w tabeli 1 (Tab. 1) znajdują się parametry dokładnościowe dopasowania dla wybranych obiektów.

Tabela 1. Charakterystyki dokładnościowe orientacji modeli 3D

Alignment Name:	Best fit alignment: odlew_z_brazu (1)	Best fit alignment: skrzynka_metalowa (5)	Best fit alignment: skrzynka_drewniana (6)
RMS Error:	0,12 mm	0.33 mm	0.057 mm
Average Error:	0.68 mm	0.48 mm	0.055 mm

### ***Porównanie modeli 3D***

Kolejnym etapem testów była weryfikacja jakości geometrycznej pozyskiwanych modeli 3D. W tym celu wykonano testy porównawcze modeli 3D uzyskanych za pomocą opracowanego urządzenia i uzyskanych za pomocą skanera laserowego ArtecEva. Dla porównania powierzchni wykorzystano narzędzie 3D Compare dostępne w oprogramowaniu Geomagic Quality w module Analysis. Dla każdej z pary siatek w module Analysis wykonano porównanie modeli 3D przyjmując jako model odniesienia siatkę uzyskaną na podstawie danych ze skanera laserowego, a jako model testowany siatkę uzyskaną na podstawie zdjęć cyfrowych. Operację porównania wykonano na siatkach składających się z 600 000 wierzchołków. Wyniki porównania dla wybranych obiektów zawiera tabela 2 (Tab. 2)

Tab. 2: Wyniki porównania modeli 3D

	Reference Model odlew_z_brazu_artec Test Model odlew_z_brazu_RevoScan _600k	Reference Model skrzynka_metalowa_artec Test Model skrzynka_metalowa_Revo Scan_600k	Reference Model skrzynka_drewniana_artec Test Model skrzynka_drewniana_Revo Scan_600k
Average Deviation (in plus/in minus)	0.6 mm / -0.5 mm	0.3 mm / -0.4 mm	0.4 mm / -0.6 mm
Standard Deviation	0.7 mm	0.5 mm	0.7 mm

Analiza rozkładu odchyłek pomiędzy modelami, pozwala stwierdzić, że ponad 57% z nich mieści się w zakresie +/- 0.3 mm, a ponad 79% odchyłek jest mniejsza niż 0.6 mm. Największe różnice pomiędzy modelami występują w przypadku bardzo małych elementów, ostrych krawędzi lub głębokich szczelin. Zbliżone wyniki uzyskano dla pozostałych badanych modeli.



### ***Porównanie modeli 3D z pomiarami bezpośrednimi obiektów***

Bezpośrednie pomiary charakterystycznych wymiarów obiektów testowych były wykonane przy użyciu suwmiarki o dokładności pomiaru +/- 0.02 mm. Wyniki tych pomiarów były porównywane z pomiarami tych samych elementów uzyskiwanymi z przekroi modeli 3D pochodzących z urządzenia RevoScan. Ogółem dla wszystkich badanych modeli wykonano ponad 150 pomiarów. Zestawienie uzyskanych wyników dla wybranych obiektów i wszystkich testowanych modeli zawiera tabela 3 (Tab. 3)

Tab. 3: Wyniki porównania pomiarów bezpośrednich z pomiarami modeli 3D

Obiekt	Odlew z brązu	Skrzynka metalowa	Skrzynka drewniana	Wszystkie testowane modele – 8 szt.
Average difference	0,34 mm	0,35 mm	0,33 mm	<b>0,35 mm</b>
Maximum difference	0,77 mm	0,76 mm	0,72 mm	<b>0,82 mm</b>
Standard deviation	0,26 mm	0,22 mm	0,25 mm	<b>0,24 mm</b>

### ***Podsumowanie***

Podsumowując, można powiedzieć, że otrzymane modele 3D z urządzenia RevoScan mają podobną dokładność przestrzenną jak te otrzymywane z ręcznego skanera 3D. ***Porównanie wymiarów modeli 3D z pomiarami bezpośrednimi obiektów, wykazało średnią różnicę miar na poziomie 0.35 mm, co przy założeniach projektowych wynoszących 0.3 mm potwierdza osiągnięcie założonego celu.***

**Przygotowanie opisanego powyżej wniosku, realizację badań, a w szczególności w zakresie separacji obiektów z tła z wykorzystaniem zjawiska polaryzacji, oraz wdrożenie efektów projektu w działalności Beneficjenta uważam za swoje kluczowe osiągnięcie naukowe połączone z transferem wiedzy do przemysłu.**

**Egzemplarz urządzenia został również dostarczony do Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie i jest wykorzystywany na Wydziale Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki w procesie dokumentacji realizowanych tam prac konserwatorskich.**

Dzięki automatyzacji prac na etapie pozyskiwania i przetwarzania danych oraz ograniczeniu czynności manualnych do minimum, uzyskano znaczne skrócenie procesu digitalizacji obiektów 3D. Powoduje to znaczne podniesienie wydajności procesu digitalizacji i jednocześnie obniżenie jego kosztów jednostkowych przy uzyskiwanej jakości geometrii modelu porównywalnej z modelami uzyskiwanymi na podstawie ręcznego skanera 3D. Jednocześnie wdrożenie systemu zarządzania barwą podczas procesu digitalizacji, oraz możliwość uzupełniania karty obiektu jako metadanych dołączanych do pozyskanych danych sprawia, że urządzenie spełnia wszelkie standardy digitalizacji obiektów muzealnych.

**Załącznik nr 4, zawiera zdjęcia urządzenia po zakończeniu prac wdrożeniowych u Beneficjenta, oraz dokumentację graficzną okien dialogowych projektu digitalizacji,**

## Bibliografia

- [1] Rizvic S., Sadzak A., Ramic-Brkic B., Hulusic V.: *Virtual museums and their public perception in Bosnia and Herzegovina*. [in:] ISPRS Trento 2011 Workshop, 2–4 March 2011, Trento, Italy, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII-5/W16, 2011, pp. 421–427.
- [2] Shunyi Zheng, Yang Zhou, Rongyong Huang, Langming Zhou, Xuan Xu, Chengyi Wang: *A method of 3D measurement and reconstruction for cultural relics in museums*. [in:] XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXIX-B5, 2012, pp. 145–149.
- [3] Menna F., Rizzi A., Nocerino E., Remondino F., Gruen A.: *High resolution 3D modeling of the Behaim Globe*. [in:] XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXIX-B5, 2012, pp. 115–120.
- [4] Fassi F., Fregonese L., Ackermann S., De Troia V.: *Comparison between laser scanning and automated 3d modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas*. [in:] 3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualisation of Complex Architectures, 25–26 February 2013, Trento, Italy, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XL-5/W1, 2013, pp. 73–80.
- [5] Prochaska M., Mitka B., „*RevoScan Automatic Device for 3D Digitisation: Concept, Application, Test Results*”, Geomatics and Environmental Engineering, vol. 10, Nr. 4, 2016, pp 81-87;
- [6] Mitka B., Prochaska M., Szelest P., „*Colour management in the process of objects' digitalization using the RevoScan device*”, Geomatics, Landmanagement and Landscape No. 1 • 2017, 93–104 DOI: 10.15576/GLL/2017.1.93
- [7] Bunsch E., Ceraficki P., Pyzik W., Sitnik R., Staszkiwicz W., Szala M., Kuśmidrowicz-Król A., „*Cyfrowe odwzorowania muzealiów – parametry techniczne, modelowe rozwiązania*.”, Narodowy Instytut Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów, Warszawa. 2012.
- [8] Vrhel M. J., Trussell H. J., „*Color device calibration: A mathematical formulation*”, IEEE Trans. Image Process., t. 8, nr 12, pp. 1796–1806, 1999.
- [9] Boiangiu C. A., Ştefănescu A. V., „*Target validation and image color calibration*”, Int. J. Circuits, Syst. Signal Process., t. 8, nr October, pp. 195–202, 2014.
- [10] Joshi, N., Wilburn, B., Vaish, V., Levoy, M. L., & Horowitz, M. „*Automatic color calibration for large camera arrays*”. Department of Computer Science and Engineering. University of California, San Diego. 2005.
- [11] Wyszecki G., Stiles, W. S., *Color science : concepts and methods, quantitative data and formulae*. New York : Wiley, ©1982., 2000.
- [12] Pastuszek W., „*Barwa w grafice komputerowej*” Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000
- [13] Tarasiuk J., „*Wprowadzenie do grafiki komputerowej*”. [Online]. Dostępne na: <http://home.agh.edu.pl/~tarasiuk/dydaktyka/doc/GFK/S/03.pdf>, 2012.

## 5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO – BADAWCZYCH

Moja pozostała działalność naukowa, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, skupia się na przede wszystkim na zagadnieniach związanych z wykorzystaniem fotogrametrii bliskiego zasięgu i naziemnego skaningu laserowego w pozyskiwaniu i przetwarzaniu informacji o obiektach różnych rozmiarów, począwszy od obiektów małych takich jak biżuteria, poprzez rzeźby i detale architektoniczne, aż po całe obiekty budowlane i zespoły urbanistyczne. Głównym aspektem realizowanych badań są praktyczne możliwości wykorzystania współczesnych technik pomiarowych, ich ograniczenia oraz osiągnięte dokładności i jakość pozyskiwanych danych.

Badania te znajdują swe odzwierciedlenie w publikacjach niewłączonych do przedstawionego powyżej osiągnięcia naukowego. Pomimo tego, że w zasadzie wszystkie dotyczą zagadnień związanych z wykorzystaniem fotogrametrii bliskiego zasięgu i naziemnego skaningu laserowego, to można je zakwalifikować do jednego z poniższych obszarów badawczych:

- **Badania w zakresie możliwości wykorzystania nowoczesnych technik pomiarowych w dokumentacji i monitoringu obiektów różnych rozmiarów**

Przedstawione poniżej publikacje obejmują wyniki badań w zakresie doboru odpowiedniej techniki pomiarowej w zależności od charakterystyki obiektu, określenia założeń realizacji pomiaru oraz możliwości przetwarzania pozyskanych danych. Dotyczą również określenia produktów jakie można uzyskać na podstawie pozyskanych danych oraz osiąganych przez te produkty parametrów dokładnościowych i jakościowych.

- **Mitka B.**, 2007, „**Application of laser scanner for collection of data on various size objects**” VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo Techniczna - „Kataster, Fotogrametria, Geoinformatyka – nowoczesne technologie i perspektywy rozwoju” 20-22 września 2007, Wydawnictwo Narodowego Uniwersytetu Politechniki Lwowskiej Miżwidomczij Naukowo-Technicznij zbyrnik: „Geodezija, Kartografija i Aerofotoznanimania”. s. 193-197;
- **Mitka B.**, 2007, „**Możliwości zastosowania naziemnych skanerów laserowych w procesie dokumentacji i modelowania obiektów zabytkowych**” – Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17, s. 525-534, ISBN 978-83-920594-9-2;
- **Mitka B.**, Mikołajczyk Ł., Noszczyk T., 2013, „**Modelowanie obiektów przemysłowych na podstawie danych z naziemnego skaningu laserowego**” – Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 2/II 2013, s. 5-16, ISSN 1732-5587;
- Biłka P., Pluta M., **Mitka B.**, 2013, „**Wykorzystanie nowoczesnych technik pomiarowych w monitorowaniu dużych obiektów hydrotechnicznych**” – Episteme 18/2013, t. 3, s. 437-443, ISSN 1895-4421;
- Gawronek P., **Mitka B.**, Zygmunt M., 2014, „**Naziemny skaningu laserowy zapory wodnej w Rożnowie jako narzędzie wspomagające monitoring obiektów hydrotechnicznych**” . Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Infrastructure and ecology of rural areas, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi III/1/2014, s. 931-943. DOI: 10.14597/infraeco.2014.3.1.069P;

- Zygmunt M., Gawronek P., **Mitka B.** 2015, „**Porównanie efektywności metod generowania przekroi na podstawie danych pozyskanych naziemnym skanerem laserowym**”; Wyd. EPISTEME Czasopismo Naukowo – Kulturalne, s. 151 - 159 , t. II , No. 26/2015; ISSN 1895 – 4421;
- Gawronek P., **Mitka B.**, 2015, ”**The use of terrestrial laser scanning in monitoring of the residential barracks at the site of the former concentration camp Auschwitz II-Birkenau**”; Wyd. Geomatics, Landmanagement and Landscape, s. 53- 60 , No. 3. 2015; ISSN 2300-1496 ; DOI:10.15576/GLL/2015.3.53;
- Pluta M., Noszczyk T., Głowacka A., **Mitka B.**, 2015, „**Inwentaryzacja muralu Smoka Wawelskiego metodami fotogrametrycznymi**” ; Wyd. EPISTEME Czasopismo Naukowo – Kulturalne, s. 117 - 123, t. II , No. 26/2015;
- Kłapa P. Knapczyk A., **Mitka B.**, 2016, „**Wykorzystanie narzędzi fotogrametrycznych w inwentaryzacji sprzętu laboratoryjnego**” *Dokowania Naukowe Młodych Naukowców*, Sierpień 2016 s. 71-83, ISBN 978-83-65180-12-4;
- **Mitka B.**, Makuch M., Gawronek P., (2016), **Zastosowanie intensywności wiązki odbicia w ocenie stanu powierzchni budowli zabytkowych**. EPISTEME: Czasopismo Naukowo-Kulturalne , 32/2016, 11–24. (ISSN 1895 - 4421);
- Kłapa P., **Mitka B.**, 2017, **Application of terrestrial laser scanning to the development and updating of the base map** *GEODESY AND CARTOGRAPHY* Vol. 66, No 1, 2017, pp. 59-72 DOI: 10.1515/geocart-2017-0002;
- Gawronek P., Makuch M., **Mitka B.**, Bożek P., Kłapa P., 2017, **3D scanning of the historical underground of benedictine abbey in Tyniec (Poland)**, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, www.sgem.org, SGEM2017, ISBN 978-619-7408-02-7 / ISSN 1314-2704, June 29 - July 5, 2017, Conference Proceedings Vol. 17, 3-10 pp, DOI: 10.5593/SGEM2017/2;
- Wójcik A., Kłapa P., **Mitka B.**, Sładek J., 2018; **The use of the photogrammetric method for measurement of the repose angle of granular materials** *Measurement* Volume 115, February 2018, Pages 19–26  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.005> (ISSN 0263-2241);
- **Badania w zakresie synergii i komplementarności danych pochodzących z różnych sensorów**

Wspólną cechą wszystkich przedstawionych poniżej publikacji, są badania w zakresie synergii i komplementarności danych pochodzących z różnych sensorów w celu osiągnięcia możliwie najlepszego produktu opracowania, przy jednoczesnej optymalizacji nakładów prac i kosztów niezbędnych do realizacji tego celu. Jednocześnie w badaniach tych uwzględniane są zarówno wpływ otoczenia, w jakim znajduje się obiekt digitalizowany, jak również indywidualne cechy tego obiektu.

- **Mitka B.**, Rzonca A., 2009, „**Integration of photogrammetric and 3D laser scanning data as a flexible and effective approach for heritage documentation**” 3<sup>rd</sup> ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 25-28 February 2009, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W1, ISSN 1682-1777;



- **Mitka B., Pluta M., “The possibilities of spatial data integration for building construction in GIS software** Geoinformatica Polonica, 2015, Vol. 14 (2015), s. 19-28, ISSN 1642-2511;
- **Mitka B., Pluta M., 2016, “Comparative analysis of the process of creating a 3D model of architecture object with using laser scanning and structure from motion technologies”** 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-59-9 / ISSN 1314-2704, June 28 - July 6, 2016, Book2 Vol. 2, 847-854 pp, DOI: 10.5593/SGEM2016/B22/S10.108;
- **Kłapa P., Mitka B., Zygmunt M., 2017 „Application of integrated photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning data to cultural heritage surveying”**, WMESS 2017 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **95** (2017) 032007 DOI :10.1088/1755-1315/95/3/032007;

- **Badania w zakresie dokładności i jakości pozyskiwanych danych**

Kolejną grupą są publikacje prezentujące wyniki badań dotyczących właściwości metrologicznych instrumentów pomiarowych i osiągniętych przez nie dokładności, jak również przedstawiające efekty analiz w zakresie porównań dokładnościowych i wydajnościowych poszczególnych instrumentów i technik pomiarowych. Prezentowane wyniki badań dotyczą zarówno pomiarów realizowanych w kontrolowanych warunkach laboratorium pomiarowego, jak też dla obiektów zewnętrznych, przy uwzględnieniu wpływów środowiskowych.

- **Gawronek P., Mitka B., Noszczyk T., Pluta M., Zygmunt M., 2014, “Analysis of the possibility to apply airborne and terrestrial laser scanning in protecting areas of Natura 2000”**, Acta Sci. Pol., Agricultura 13(4), s. 31-42;
- **Głowacka A., Noszczyk T., Zygmunt M., Gawronek P., Mitka B., Pluta M., 2014, “Comparison of effectiveness of measuring concrete water dam with terrestrial laser scanners: Riegl VZ-400, Z+F Imager 5010”** Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr IV/3/2014, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 1367–1376;
- **Biłka P., Mitka B., Zygmunt M., Kłapa P., 2014, “Testowanie dokładności metrologicznej naziemnego skanera laserowego w warunkach laboratoryjnych”**, EPISTEME 22/2014, t. II s. 23-32 ISSN 1895-4421;
- **Gawronek P., Zygmunt M., Mitka B., 2015, „Propozycja badania dokładności naziemnego skanera laserowego firmy Z+F 5010 w warunkach laboratoryjnych”**; Wyd. EPISTEME Czasopismo Naukowo – Kulturalne, s. 33 - 40 , t. II , No. 26/2015; ISSN 1895 – 4421,;
- **Kłapa P., Mitka B., 2017, Edge effect and its impact upon the accuracy of 2D and 3D modelling using laser scanning**, Geomatics, Landmanagement and Landscape No. 1 • 2017, s. 25–33 , DOI: 10.15576/GLL/2017.1.25;
- **Kłapa P., Mitka B., Zygmunt M., „Study into point cloud geometric rigidity and accuracy of TLS-based identification of geometric bodies”**, WMESS 2017 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **95** (2017) 032008 DOI :10.1088/1755-1315/95/3/032008.

- **Badania w zakresie pozyskania i przetwarzania danych na potrzeby wizualizacji i publikacji**

Osobną grupą są artykuły opisujące wyniki badań i prac wdrożeniowych, realizowanych w zakresie przetwarzania danych na potrzeby modelowania, wizualizacji i publikacji obiektów 3D w postaci animacji, serwisów internetowych, interaktywnych prezentacji itp.. Badania w tym zakresie dotyczą przede wszystkim specyfiki modelowania 3D, na podstawie danych pochodzących z pomiarów fotogrametrycznych i z naziemnego skaningu laserowego, w różnych środowiskach aplikacyjnych. Przedstawiają również problematykę przygotowania danych i ich optymalizacji na potrzeby programów realizujących zadania w zakresie grafiki komputerowej, jak również zagadnienia dotyczące migracji danych pomiędzy odmiennymi platformami programowymi.

- **Mitka B., Szelest P., 2012, „Wykorzystanie danych przestrzennych w modelowaniu i wizualizacji obszarów wiejskich”** - Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, 2/II, s. 207-217, ISSN 1732-5587;
- **Mitka B., Szelest P., 2013, "Problematyka pozyskiwania i przetwarzania danych fotogrametrycznych i z naziemnego skaningu laserowego na potrzeby tworzenia portali edukacyjnych i wirtualnych muzeów na przykładzie Katedry Wawelskiej"** – Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 25, s. 107-115, ISSN 2083-2214;
- **Mitka B., Szelest P., 2013, „Use of photogrammetric data with tools for advanced visualization for the Nostitz grange in Mściwojów”** – Geomatics, Landmanagement and Landscape, No 2 2013, str. 75-85, ISSN 2300-1496;
- Litwin U., Pijanowski J.M., **Mitka B., Szelest P., Zygmunt M., 2014, Modern Methods of 3D Visualisation of a Landscape and Their Role in Local Development Projects (Village Mściwojów, Poland)**. Vital landscapes: valorisation and suitable development of cultural landscapes using innovative participation and visualisation techniques / Těšitel Jan, Kolbmüller Burkhardt, Stoglehner Gernot (red.), NEBE, ISBN 978-80-904100-7-7, s. 93-133. Monographic volume, University of South Bohemia in České Budějovice;
- Pluta M., **Mitka B., 2014, “Możliwości modelowania 3D na podstawie danych ze skaningu laserowego”** EPISTEME 22/2014, t. II s. 137-146 ISSN 1895-4421;
- Bęcek K., Gawronek P., Kłapa P., Kwoczyńska B., Matuła P., Michałowska K., Mikrut S., **Mitka B., Piech I., Zygmunt M., 2015, „Modelowanie i wizualizacja danych 3D na podstawie pomiarów fotogrametrycznych i skaningu laserowego”**. Monografia pod red. Krystyny Michałowskiej, ISBN 978-83-60507-29-2, s. 104, Wydawnictwo WSiE Rzeszów;
- Urszula Litwin, Magda Pluta, **Bartosz Mitka, 2017, Improving the Perception in Urban Planning by 3D Modelling and 3D Visualization**, Erwin Hepperle, Robert Dixon-Gough, Reinfried Mansberger, Jenny Paulsson, Józef Hernik and Thomas Kalbro (eds.) *Land Ownership and Land Use Development, The Integration of Past, Present, and Future in Spatial Planning and Land Management Policies* 2017, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürichv ISBN 978-3-7281-3803-3

(Print version) 978-3-7281-3804-0 / DOI 10.3218/3804-0 (open access); pp. 209-220;

Efektom prac w zakresie integracji danych jest również zgłoszenie patentowe i zgłoszenie wzoru przemysłowego dotyczące kul referencyjnych umożliwiających z wysoką precyzją łączenie w jednym opracowaniu danych pochodzących z pomiaru naziemnym skanerem laserowym i pozyskiwanych z bezzałogowych statków powietrznych.

1. Zgłoszenie patentowe nr: P.424402 z dnia 29.01.2018 – postępowanie w toku  
Właściciel: Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie  
Twórcy: Mitka Bartosz  
Kłapa Przemysław  
Makuch Maria  
Tytuł zgłoszenia: **„Kule pomiarowe do integracji danych z UAV i TLS wraz poziomowaną podstawką i układ połączenia pomiędzy kulą i podstawką**  
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej
2. Zgłoszenie wzoru przemysłowego nr: Wp.26231 z dnia 01.02.2018 – postępowanie w toku  
Właściciel: Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Twórcy: Mitka Bartosz  
Kłapa Przemysław  
Tytuł zgłoszenia: **Kula pomiarowa do integracji pomiarów**  
Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej