

**ROZWÓJ CYFROWEJ TECHNOLOGII INWENTARYZACJI
OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH NA PRZYKŁADZIE DOŚWIADCZEŃ
ZAKŁADU FOTOGRAMETRII I INFORMATYKI TELEDETEKCYJNEJ AGH**

**THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGY CONCERNING
SURVEYS OF HERITAGE OBJECTS BASED ON EXPERIENCES OF AGH
DEPARTMENT OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING
INFORMATICS**

Adam Boroń, Marta Borowiec, Andrzej Wróbel

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria cyfrowa, inwentaryzacja zabytków, fotoplan, autograf cyfrowy, wizualizacja

STRESZCZENIE: Od początku istnienia Zakładu Fotogrametrii AGH, w ramach prac naukowo-badawczych rozwijano była technologię fotogrametrycznej inwentaryzacji zabytków. Początkowo w badaniach i opracowaniach stosowano jedynie metody analogowe, w tym technikę analogowej ortofotografii. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku rozpoczęto stosowanie technik cyfrowych do inwentaryzacji obiektów zabytkowych. W tym okresie skonstruowano autograf cyfrowy VSD-AGH umożliwiający opracowanie zdjęć metrycznych i niemetrycznych. Poprzez wiele funkcji dedykowanych opracowaniom z zakresu fotogrametrii naziemnej stał się podstawowym instrumentem wykorzystywanym do inwentaryzacji zabytków. Do chwili obecnej stosowany jest on do opracowań wektorowych oraz do pozyskiwania danych dla opracowań rastrowych. Zwiększona moc obliczeniowa komputerów oraz rozwój urządzeń do pozyskiwania obrazów cyfrowych (kamery cyfrowe, skanery itp.) umożliwiły rozwój technik tworzenia cyfrowej dokumentacji rastrowej. Oprócz wysokorozdzielczych fotoplanów uzyskiwanych najprostszą metodą przekształcenia rzutowego rozwinięto technologię tworzenia fotoplanów rozwinięć sklepień kolebkowych oraz technologię ortofotoplanów. Zastosowanie komputerowych technik przetwarzania umożliwiło rozpowszechnienie nowej formy dokumentacji – pokrytych naturalnymi teksturami modeli 3D obiektów zabytkowych. Pierwsze takie opracowania wykonano Zakładzie Fotogrametrii pod koniec lat dziewięćdziesiątych. W ostatnich latach coraz częściej do opracowań architektonicznych stosowany jest skaning laserowy. Rozwijane w Zakładzie Fotogrametrii cyfrowe metody fotogrametrycznej inwentaryzacji zabytków są praktycznie weryfikowane podczas inwentaryzacji wielu obiektów zabytkowych w kraju i za granicą. Wyniki prac badawczych i zdobyte doświadczenia są przekazywane studentom w ramach dwóch przedmiotów fakultatywnych związanych z fotogrametryczną inwentaryzacją zabytków. Opracowano też wiele dyplomowych prac magisterskich, w których rozwiązywane były różnorakie zagadnienia związane z cyfrową inwentaryzacją. W artykule zamieszczono wykaz obiektów zinwentaryzowanych.

1. WSTĘP

Od początku istnienia Zakładu Fotogrametrii, później Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej przekształconego ostatnio w Katedrę Geoinformacji Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, w ramach prac naukowo-badawczych, rozwijano technologię fotogrametrycznej inwentaryzacji zabytków, głównie obiektów architektonicznych. Początkowo w badaniach i opracowaniach stosowano jedynie metody analogowe, w tym technikę analogowej ortofotografii. Na lata dziewięćdziesiąte ubiegłego wieku datuje się początek wprowadzania technik cyfrowych do inwentaryzacji obiektów zabytkowych. W tym czasie opracowano założenia i skonstruowano autograf cyfrowy VSD-AGH. Początkowo zdjęcia analogowe zamieniano na postać cyfrową przez skanowanie. Zwiększona moc obliczeniowa komputerów oraz rozwój aparatów cyfrowych umożliwiły rozwój technologii wysokorozdzielczej cyfrowej dokumentacji rastrowej. Opracowano technologię fotoplanów uzyskiwanych metodą przekształcenia rzutowego, tworzenia fotoplanów rozwinięć sklepień kolebkowych oraz technologię ortofotoplanów. Komputerowe techniki przetwarzania umożliwiły rozpowszechnienie nowej formy dokumentacji – pokrytych naturalnymi teksturami modeli 3D obiektów zabytkowych.

2. METODY POZYSKIWANIA OBRAZÓW CYFROWYCH

W Zakładzie Fotogrametrii AGH początki stosowania technik cyfrowych w inwentaryzacji obiektów zabytkowych sięgają połowy lat dziewięćdziesiątych. Do opracowań cyfrowych stosowano wówczas zdjęcia wykonywane w tradycyjny sposób na błonach fotograficznych i na kliszach szklanych, które następnie zamieniano na postać cyfrową przez skanowanie. Początkowo w Zakładzie wykorzystywano nieprofesjonalny skaner Umax 1200 SE o rozdzielczości 600x1200 dpi. Dla zwiększenia dokładności skanowania określono model błędów tego skanera (Boroń 1996). Część zdjęć skanowano na skanerze Leica-Helwa w Warszawie. Dla zwiększenia rozdzielczości obrazów cyfrowych często zamiast negatywów skanowano powiększenia zdjęć pomiarowych (Boroń, Wróbel 1998). Zakup w roku 1996 profesjonalnego skanera fotogrametrycznego Photoscan TD firmy Zeiss/Intergraph, rozwiązał problem skanowania zdjęć analogowych.

Do wykonywania analogowych zdjęć pomiarowych wykorzystywano kamerę UMK 100/1318 oraz średnioformatowy (6x6 cm) aparat fotograficzny Pentacon Six. Kamera UMK dostarczała czarno-białe metryczne obrazy o bardzo dużym formacie, wykorzystywane głównie do opracowania wektorowego obiektów architektonicznych. Ze względu na brak materiałów barwnych na podłożu szklanym zastosowanie tej kamery do opracowań rastrowych było ograniczone do fotoplanów malowideł czarno-białych. Dostępne na rynku bardzo drogie barwne błony cięte 13x18cm nie zapewniały wymaganej płaskości. Dlatego często stosowano rozwiązanie dwuetapowe: wykonywano zdjęcia całości malowidła szerokokątną wielkoformatową kamerą UMK 100/1318, na ich podstawie wykonywano fotoplan czarno-biały, a ostateczny barwny fotoplan składano z przetworzeń zeskanowanych zdjęć fragmentów obiektu wykonanych aparatem Pentacon Six na barwnym negatywie lub diapozytywie. Metoda ta stosowana jest do tej pory; z tym, że barwne obrazy pozyskiwane są wysokorozdzielczymi aparatami cyfrowymi (Boroń et al. 2006a).

Analogowe aparaty fotograficzne zostały stopniowo wyparte przez wysokorozdzielcze lustrzanki cyfrowe. Wymienne, stałogniskowe obiektywy, tryby manualnej obsługi (m. in. wyłączanie funkcji autofocus, manualne ustawianie odległości obrazowej) stworzyły możliwości wykorzystania aparatów tego typu jako cyfrowych kamer pomiarowych. Zbudowanie w Zakładzie dwóch pól kalibracyjnych wraz z oprogramowaniem Orient (UT Vien) i PI-calib (Topcon), umożliwiających automatyczny pomiar zdjęć kalibracyjnych oraz określenie parametrów dystorsji i elementów orientacji wewnętrznej zdjęć, pozwala w krótkim czasie uzyskać parametry do odtworzenia promieni rzutujących. W przypadkach opracowań jednoobrazowych zawsze, a przy opracowaniach dwuobrazowych w przypadku wykonywania ortofotografii, wykonuje się resampling obrazów źródłowych w celu wyeliminowania dystorsji (programy: PI-calib, Distorsion). Wykorzystywane w inwentaryzacji zabytków lustrzanki cyfrowe to: Minolta RD175 (1.5 mpx), Kodak DCS 760 (6 mpx), Minolta Dynax 5D (6 mpx), Nikon D80 (10 mpx) i Sony A900 (24.5 mpx). Mimo ciągłego rozwoju wielkości matryc, zdjęcie pomiarowe z kamery UMK o formacie 13x18cm, po zeskanowaniu pikselem 14 μ m, daje obraz cyfrowy o wielkości ok. 100 mpx, dlatego dalej jest ona stosowana w praktyce inwentaryzacyjnej.

3. DOKUMENTACJA 2D

W okresie opracowań analogowych podstawowymi formami dokumentacji były rzuty, przekroje i widoki elewacji, jako rysunki kreskowe oraz fotoplany wykonywane na światłoczułym materiale fotograficznym. Po wprowadzeniu komputerowej obróbki obrazów cyfrowych formy dokumentacji 2D pozostały takie same, ale zmieniła się ich postać. Rysunki kreskowe powstają w pamięci komputera, jako rysunki wektorowe i można je w łatwy sposób drukować lub też dostarczać do zleceniodawcy w postaci plików typu CAD. Fotoplany w postaci cyfrowej, ze względu na ich olbrzymią zawartość informacyjną (barwy naturalne i szczegółowość) oraz stosunkowo dużą łatwość otrzymywania na ich podstawie barwnych wydruków roboczych, stają się coraz częściej pożądanymi przez odbiorców produktami dokumentacyjnymi.

3.1. Dokumentacja wektorowa - rzuty, przekroje i widoki elewacji

Na początku lat dziewięćdziesiątych w Zakładzie Fotogrametrii opracowano autograf cyfrowy VSD-AGH (Jachimski, Zieliński 1993). Za pomocą stereoskopu prowadzona jest obserwacja dwóch obrazów wyświetlanych na połówkach ekranu. W porównaniu do innych autografów wyróżnia się on posiadaniem wielu specjalnych funkcji ułatwiających opracowywanie zarówno fotogrametrycznych jak i niemetrycznych naziemnych zdjęć obiektów zabytkowych. Powoduje to, że do dziś jest podstawowym autografem wykorzystywanych do opracowań z zakresu inwentaryzacji obiektów zabytkowych w Zakładzie Fotogrametrii (Jachimski, Zieliński 1996, 1998; Wróbel et al. 2007).

Autograf VSD stosowany jest głównie do opracowań wektorowych, czyli do rysowania rzutów, przekrojów i widoków elewacji. Z jego pomocą powstało wiele dokumentacji wektorowych (0 i 2) wśród których wymienić można: elewację fasady kościoła w Mondonedo (Borowiec, Tokarczyk 1998), przekroje murów Shunet el Zebib w Abydos w Egipcie (Boroń et al. 2002), dużą część kompleksowej dokumentacji wzgórza zamkowego w Rabsztynie (Boroń et al. 2004) i wiele innych obiektów.

VSD służy również do pozyskiwania danych metrycznych dla procesu tworzenia opracowań rastrowych. Praktycznie miał swój udział w większości opracowań z zakresu inwentaryzacji powstałych w Zakładzie Fotogrametrii.

3.2. Dokumentacja rastrowa – fotoplany cyfrowe

Fotoplany cyfrowe wykonuje się zazwyczaj dla przedstawienia widoków elewacji ścian i murów zwłaszcza wtedy, gdy konieczne jest przedstawienie ich wątków ceglanych lub kamiennych oraz dla dokumentacji malowideł, głównie polichromii ściennych. Podstawowym parametrem geometrycznym fotoplanów cyfrowych jest wielkość piksela obiektowego, decydująca o szczegółowości opracowania. Na podstawie naszych wieloletnich doświadczeń przyjmujemy, że wielkość piksela obiektowego w przypadku inwentaryzacji malowideł nie powinna być większa niż 1mm (przedział 0.1÷1 mm), a w przypadku obiektów architektonicznych w zależności od ich wielkości, powinna zawierać się w przedziale 1÷3mm.

Powierzchnie obiektów zabytkowych, które przedstawiane są na fotoplanach możemy podzielić na:

- płaskie lub prawie płaskie (np. powierzchnie ścian z malowidłami)
- niepłaskie, regularne i rozwijalne (np. walcowe powierzchnie sklepień, stożkowe powierzchnie glicyfów okiennych)
- niepłaskie, regularne, ale nierozwijalne (np. sferyczne powierzchnie kopuł)
- niepłaskie, nieregularne (np. powierzchnie zerodowanych i zniszczonych murów)

W zależności od typu powierzchni stosujemy różne metody tworzenia fotoplanów.

4. Fotoplany obiektów o powierzchniach płaskich

Podstawowa metoda stosowana w tym przypadku to proste i szybkie przekształcenie rzutowe. Do przetworzenia jednego zdjęcia potrzebne są minimum cztery fotopunkty o współrzędnych X, Y w płaszczyźnie obiektu. Ograniczeniem metody są błędy w postaci szczytkowych odchyłek radialnych wynikających z niepłaskości obiektu. Aby zmniejszyć ich wpływ należy wykonywać zdjęcia wykorzystując obiektywy o długiej ogniskowej. Do przetwarzania w Zakładzie Fotogrametrii wykorzystywano programy Iras C i ImageAnalyst firmy Intergraph stosując funkcje „Image to map” lub „Image to image”.

Fotoplany tą metodą wykonywano dość często np. przy opracowaniu polichromii w bibliotece Opactwa Cystersów w Lubiążu, Kaplicy Świętokrzyskiej w Katedrze Wawelskiej (Boroń, Jachimski 1998), murów zamku w Rabsztynie (Boroń et al. 2004) i w wielu innych obiektach.

Pomiar fotopunktów (z reguły zasygnalizowanych) można wykonać różnymi metodami. Najprostsza to pomiar odległości pomiędzy nimi i obliczenia współrzędnych przez wyrównanie sieci liniowej. Jeżeli bezpośredni pomiar fotopunktów jest niemożliwy to wykonywany jest pomiar biegunowy z wykorzystaniem tachimetru z dalmierzem bezlustrowym. W przypadku dużych malowideł, gdzie ze względów na założoną rozdzielczość należy wykonać wiele zdjęć i należy posiadać dużą liczbę punktów dostosowania, stosuje się opisaną wcześniej metodę z wykorzystaniem czarno-białych zdjęć z kamery UMK.

5. Fotoplany obiektów o powierzchniach niepłaskich i regularnych

Fotoplany wszystkich obiektów, w tym również obiektów o powierzchniach niepłaskich i regularnych powinny być ciągłe i posiadać jednolitą skalę. Warunek ten spełniają jedynie powierzchnie rozwijalne. W przypadku powierzchni nierozwijalnych ciągłość fotoplanu jest ważniejsza od skażenia geometrycznego, dlatego stosuje się tutaj różne typy odwzorowań, podobne jak w kartografii.

Na bazie doświadczeń zdobytych na wielu obiektach (tabela 1, tabela 2) w Zakładzie Fotogrametrii opracowano technologię wykonywania fotoplanów rozwinięć bazującą na wykorzystaniu stereogramu pomiarowego do określenia geometrii powierzchni, dostarczenia zbioru punktów do przetwarzania i wykonania fotoplanu wzorcowego, oraz na wykorzystaniu pojedynczych, wysokorozdzielczych zdjęć barwnych do opracowania fotoplanu docelowego:

- a) Wykonanie stereogramu pomiarowego, kamerą UMK (lub skalibrowanym aparatem cyfrowym) z zasygnalizowaniem i pomiarem osnowy fotogrametrycznej.
- b) Wykonanie pojedynczych, wysokorozdzielczych barwnych zdjęć cyfrowych powierzchni obiektu (bez osnowy fotogrametrycznej).
- c) Pomiar na stereogramie dużej grupy punktów służących zarówno do przetwarzania jak i do określenia parametrów geometrycznych powierzchni. Grupa pomierzonych punktów dla przetwarzania metodą elementów skończonych musi pokryć równomiernie cały przetwarzany obszar, natomiast dla obecnie najczęściej stosowanej transformacji wielomianowej punktów może być mniej. Pierwotnie, równoległe na dwóch komputerach, mierzono te same punkty na stereogramie i na zdjęciu przetwarzanym (Jachimski, Mierzwa 1998). Metodę udoskonalono przetwarzając jedno ze zdjęć stereogramu (Boroń, Wróbel 1998), więc uciążliwy, równoległy pomiar nie jest już stosowany.
- d) Określenie kształtu powierzchni – początkowo tworzono numeryczny model obiektu i na jego podstawie obliczano dane do przetwarzania (Jachimski, Mierzwa 1998), obecnie z reguły aproksymuje się ją powierzchnią matematyczną, najczęściej walcem (Boroń et al. 2006a).
- e) Obliczenie współrzędnych płaskich x,y w układzie rozwinięcia w oparciu o wyznaczony kształt powierzchni i współrzędne punktów (X,Y,Z) z pomiaru stereoskopowego
- f) Utworzenie wzorca fotoplanu rozwinięcia - przetworzenie na rozwinięcie (metodą wielomianową lub elementów skończonych) jednego ze zdjęć stereogramu
- g) Przetworzenie metodą wielomianową w opcji „image to image” pojedynczych, cyfrowych zdjęć wysokorozdzielczych na utworzony wcześniej wzorec fotoplanu rozwinięcia
- h) Montaż przetworzonych zdjęć i korekcja radiometryczna.

6. Fotoplany obiektów o powierzchniach niepłaskich i nieregularnych

Opracowanie fotoplanów takich powierzchni wymaga zastosowania metody elementów skończonych (Borowiec et al. 2002) lub wykonania ortofotografii. W obydwu przypadkach konieczne jest wykonywanie stereogramów pomiarowych dla określenia numerycznego modelu powierzchni. Fotoplany tą metodą opracowuje się z reguły dla powierzchni zniszczonych murów i nieregularnych ścian.

7. MODELOWANIE 3D

Jeszcze w ubiegłym wieku w Zakładzie Fotogrametrii rozpoczęto badania nad modelowaniem 3D obiektów zabytkowych, jako nową formą cyfrowej dokumentacji fotogrametrycznej (Tokarczyk, Gul 1999). Z modelu 3D obiektu zabytkowego pokrytego naturalnymi teksturami można pozyskać dokumentację wektorową 2D (rzuty, widoki i przekroje) oraz rastrową, czyli tekstury, najczęściej fotoplany elewacji. Dokumentacja w tej postaci jest szczególnie cenna jeśli prezentuje niedostępny obiekt zabytkowy (Boroń, Dziedzic 2006b). W Zakładzie Fotogrametrii w ramach prac magisterskich prowadzono doświadczenia z wykorzystaniem różnych programów do tworzenia i wizualizacji trójwymiarowych modeli, od najprostszych jak Photomodeler poprzez Microstation, AutoCad czy też Orpheus, po 3D Studio Max (tabela 3). W ramach prac dyplomowych powstały między innymi modele wnętrza i zewnątrz kościoła św. Wojciecha w Krakowie, model niedostępnej absydioli w kościele św. Andrzeja, model Collegium Maius w Krakowie. Ciekawym doświadczeniem było opracowanie modelu 3D fontanny Potop w Coburgu z wykorzystaniem „skanowania fotogrametrycznego” stereogramów pomiarowych w programie PI-3000. Chmura ponad miliona pomierzonych automatycznie punktów rzeźby umożliwiła wykonanie jej kopii wirtualnej (tabela 3).

8. SKANING LASEROWY

Zakład Fotogrametrii nie posiada własnego skanera laserowego. W pierwszych pracach z tej dziedziny korzystano ze zmotoryzowanego tachimetru z możliwością pomiaru bezlustrowego (Mierzwa, Rzonca 2003). Dzięki pomocy różnych firm, które bezpłatnie użyczały skanerów, w ramach prac magisterskich wykonywano badania nad wykorzystaniem tych urządzeń w inwentaryzacji obiektów zabytkowych. Prace takie prowadzono w kaplicy Mariackiej Katedry Wawelskiej (skaner Trimble GS200), w kościele Św. Stanisława w Krakowie (skaner ZF 5006) (tabela 3). Skanery: Konica Minolta Vivid 9i, Scanbright i HandyScan wykorzystano do tworzenia wirtualnych kopii małych obiektów zabytkowych (tabela 3). Wiele badań z tej dziedziny prowadził w ramach pracy doktorskiej doktorant Katedry Antoni Rzonca (Rzonca, 2008).

9. OPRACOWANIA Z ZAKRESU CYFROWEJ INWENTARYZACJI OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH ZREALIZOWANE W ZAKŁADZIE FOTOGRAMETRII I INFORMATYKI TELEDETEKCYJNEJ

W poniższych tabelach przedstawiono najważniejsze prace z zakresu cyfrowej fotogrametrycznej inwentaryzacji wykonywane w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej oraz Katedrze Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska (od 2007 roku) zarówno przez pracowników (tabela 1), jak i przez studentów w ramach przedmiotów fakultatywnych (tabela 2).

Tabela 1. Wykaz prac z zakresu cyfrowej inwentaryzacji obiektów zabytkowych wykonywanych przez pracowników Zakładu

Lp	Nazwa obiektu	Przedmiot opracowania	Rok
1	Kościół w Mondonedo (Hiszpania)	Opracowanie wektorowe elewacji	1995
2	Kościół OO. Pijarów w Krakowie, sklepienie	Fotoplany rozwinięć sklepienia	1996
3	Klasztor OO. Cystersów w Lubiążu, sala biblioteki	Opracowanie wektorowe: elewacje, rzuty, przekroje Fotoplany malowideł na ścianach Fotoplany rozwinięć sklepienia Wirtualny model sali biblioteki	1996-1998
4	Katedra Wawelska, kaplica Świętokrzyska	Fotoplany malowideł na ścianach Fotoplany rozwinięć sklepienia	1997
5	Kościół w Nivce	Opracowanie wektorowe: elewacje, rzuty, przekroje	2000
6	Monument Shunet ez Zebib, Abydos, Egipt	Opracowanie wektorowe: przekroje Fotoplany cyfrowe ścian budowli	2001
7	Zamek Prezydenta Mościckiego w Wiśle	Opracowanie wektorowe elewacji budowli	2002
8	Ruiny zamku w Rabsztynie	Opracowanie wektorowe: rzuty, przekroje, mapa obiektu oraz terenu przyległego, fotoplany ścian zamku	2003
9	Kościół św. Andrzeja w Krakowie, fragmenty romańskiej apsydioli	Fotoplany ścian, rozwinięcie apsydioli Wirtualny model pomieszczenia	2002 i 2004
10	Katedra Wawelska, kaplica Mariacka	Fotoplany malowideł na ścianach, fotoplany rozwinięć sklepienia	2005
11	Rynek w Krakowie – wykopaliska archeologiczne (Kramy Bogate, Krzyż)	Opracowanie wektorowe: elewacje, rzuty, przekroje Fotoplany murów Kramów Bogatych	2006
12	Muzeum Collegium Maius – klocek drukarski	Bierna inwentaryzacja cyfrowa eksponatu muzealnego	
13	Hala Koszyki w Warszawie	Opracowanie wektorowe: widoki elewacji	2007
14	Katedra Wawelska, kaplica Hińczy z Rogowa	Fotoplany malowideł ściennych, Fotoplan rozwinięcia sklepienia	2007
15	Katedra Wawelska, zakrystia Bpa Tomickiego	Fotoplany malowideł na ścianach, Fotoplan rozwinięcia sklepienia	2008
16	ASP w Krakowie, ul Smoleńsk sgraffito	Inwentaryzacja powierzchni sgraffito-przed i po konserwacji - model 3D	
17	Katedra Wawelska, kaplica Wazów	Opracowanie wektorowe: elewacje, rzuty, przekroje	2008
18	Muzeum Wsi Radomskiej, drewniany kościół z Wolanowa	Fotoplany malowideł ściennych, Fotoplany rozwinięć sklepienia	2008
19	Katedra w Sandomierzu: prezbiterium i kaplica Najświętszego. Sakramentu	Fotoplany malowideł ściennych, Fotoplany rozwinięć sklepienia Wektorowy model 3D	2008-2009

W tabeli 3 przedstawiono wykaz dyplomowych prac magisterskich z tego zakresu.

Tabela 2. Wykaz opracowań cyfrowych wykonywanych przez studentów w ramach przedmiotów fakultatywnych

Lp	Nazwa obiektu	Przedmiot opracowania	Rok
1	Zakrystia kościoła OO. Pijarów w Krakowie - strop	Fotoplan polichromii	2002/03
2	Teatr Słowackiego w Krakowie, plafon w foyer, garderoba Ludwika Solskiego	Fotoplany polichromii	2003/04
3	Krużganki klasztoru Franciszkanów w Krakowie	Fotoplany polichromii	2005/06
4	Collegium Maius w Krakowie	Fotoplany polichromii	2004/05
5	Klasztor OO. Benedyktynów w Tyńcu	Fotoplany polichromii	2007/08
6	Pałac Bpa Erazma Ciołka w Krakowie	Fotoplany malowideł	2006/07
7	Kamienica Hipolitów w Krakowie	Fotoplany malowideł na stropie	
8	Kościół OO. Karmelitów w Krakowie	Fotoplany rozwinięć malowideł na sklepieniu	2003/04/05
9	Kościół św. Barbary w Krakowie	Fotoplany rozwinięć malowideł na sklepieniu	2006/07
10	Sień kamienicy na ul. Sarego 5 w Krakowie	Fotoplany rozwinięć malowideł na sklepieniu	2003/04
11	Klasztor OO. Benedyktynów w Tyńcu	Fotoplany rozwinięć malowideł na sklepieniu	2007/08
12	Kaplica Najświętszego Serca Pana Jezusa w Krakowie	Opracowanie wektorowe: elewacje, rzuty, przekroje	2006/07
13	Cmentarz Rakowicki w Krakowie: - Grobowce rodzin Walterów, Wężyków - monument: Poległym w okresie I wojny światowej - pomnik Ułanów spod Rokitnej	Opracowanie wektorowe: elewacje, rzuty, przekroje	2007/08/09

Tabela 3. Wykaz prac dyplomowych z zakresu cyfrowej inwentaryzacji obiektów zabytkowych

Lp	Tytuł pracy	Autor	Promotor	Rok
1	Opracowanie barwnego, cyfrowego fotoplanu rozwinięcia sklepienia kolebkowego na przykładzie Opactwa Cystersów w Lubiążu	Dariusz Misterek, Diana Lusina	dr inż. Władysław Mierzwa	1997
2	Opracowanie fotoplanu malowideł fasety sali biblioteki Opactwa Cystersów w Lubiążu na podstawie kolorowych zdjęć	Janusz Ciešlar	prof.dr hab.inż. Józef Jachimski	1998
3	Trójwymiarowa rekonstrukcja obiektu inwentaryzacji architektonicznej	Marcin Gul	dr inż. Regina Tokarczyk	1999
4	Trójwymiarowa inwentaryzacja i wizualizacja biblioteki byłego klasztoru OO. Cystersów w Lubiążu	Antoni Rzonca	prof.dr hab.inż. Józef Jachimski	2001
5	Pasywna inwentaryzacja fotogrametryczna obiektu architektonicznego na przykładzie biblioteki opactwa oo. Cystersów w Lubiążu	Jan Rościszewski	dr inż. Adam Boroń	2001
6	Fotogrametryczne opracowanie kapliczek przydrożnych	Dominika Matusz	prof.dr hab.inż. Józef Jachimski	2001
7	Technologia wektorowej inwentaryzacji 2D i 3D obiektów architektonicznych na przykładzie kościoła św. Wojciecha w Krakowie	Joanna Gacka	dr inż. Adam Boroń	2004
8	Komputerowa wizualizacja 3D relikwów romańskich z kościoła Św. Andrzeja w Krakowie	Aleksander Dziedzic	dr inż. Adam Boroń	2004

*Rozwój cyfrowej technologii inwentaryzacji obiektów zabytkowych na przykładzie doświadczeń
Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH*

9	Fotogrametryczna inwentaryzacja zabytkowej rzeźby	Tomasz Urbański	prof.dr hab.inż. Józef Jachimski	2005
10	Skaning laserowy w modelowaniu 3D zabytkowych obiektów architektonicznych	Tomasz Skiba	dr inż. Adam Boroń	2005
11	Skaning laserowy skanerem Trimble GS 200 w dokumentowaniu złożonych obiektów zabytkowych na przykładzie Kaplicy Mariackiej na Wawelu	Andrzej Pazurkiewicz	dr inż. Adam Boroń	2005
12	Fotogrametryczna inwentaryzacja 3D wnętrza kościoła św. Wojciecha w Krakowie	Anna Mach	dr inż. Adam Boroń	2005
13	Zastosowanie programu Orpheus do trójwymiarowej inwentaryzacji zabytków	Marta Kosecka	dr inż. Regina Tokarczyk	2005
14	Bierna inwentaryzacja architektoniczna zabytków architektury z wykorzystaniem fotograficznego aparatu analogowego na przykładzie drewnianego młyna w Raciborowicach	Monika Blicharz	dr inż. Andrzej Wróbel	2006
15	Bierna inwentaryzacja obiektów zabytkowych i jej wykorzystanie do komputerowej wizualizacji	Agnieszka Lisowska-Woś	dr inż. Andrzej Wróbel	2006
16	Wykorzystanie tachimetrów bezzwierciadlanych w inwentaryzacji obiektów zabytkowych	Hanna Klimkowska	dr inż. Andrzej Wróbel	2006
17	Kompleksowa inwentaryzacja zabytkowego zespołu dworsko-parkowego w Cichawie - część architektoniczna i archiwalna	Karolina Fieber	dr inż. Adam Boroń	2006
18	Kompleksowa inwentaryzacja zabytkowego zespołu dworsko-parkowego w Cichawie - część topograficzna i przyrodnicza	Dorota Grabowska	dr inż. Adam Boroń	2006
19	Wykorzystanie aparatu cyfrowego i analogowej kamery semimetrycznej do inwentaryzacji architektonicznej	Magdalena Kubica	dr inż. Andrzej Wróbel	2007
20	Cyfrowa dokumentacja fotogrametryczna bram egipskiego monumentu Shunet el Zebib	Arkadiusz Zaskalski	dr inż. Adam Boroń	2007
21	Opracowanie fotoplanów cyfrowych złożonego obiektu architektonicznego z wykorzystaniem fotogrametrycznej stacji cyfrowej Dephos	Dorota Bytnar	dr inż. Adam Boroń	2007
22	Wizualizacja zespołów sakralno-parkowych na przykładzie kościoła św. Stanisława BM w Krakowie	M. Siwek	dr hab.inż. Krystian Pyka	2008
23	Wykorzystanie skaningu laserowego dla potrzeb inwentaryzacji architektonicznej na przykładzie Kościoła pod wezwaniem Św. Stanisława w Krakowie	K.Nowak	dr hab.inż. Krystian Pyka	2008
24	Próba wykorzystania modelu 3D dla potrzeb opracowania dokumentacji architektonicznej na przykładzie kościoła p.w. św. Stanisława w Krakowie	K.Pycia	dr hab.inż. Krystian Pyka	2008
25	Komputerowa wizualizacja zabytkowego, złożonego obiektu architektonicznego na przykładzie Collegium Maius w Krakowie	Dominika Semeniuk, Agnieszka Reguła	dr inż. Adam Boroń	2008
26	Wykorzystanie wysokorozdzielczych aparatów cyfrowych do tworzenia fotoplanów rozwinięć malowideł ze sklepień kolebkowych w krużgankach klasztoru OO. Karmelitów w Krakowie	Magdalena Fajfer	dr inż. Adam Boroń	2008
27	Pasywna dokumentacja fotogrametryczna małych obiektów architektonicznych na przykładzie epitafiów z Klasztoru OO. Dominikanów w Krakowie	Joanna Jaworska	dr inż. Adam Boroń	2008
28	Wykorzystanie skanera Konica Minolta Vivid 9i do tworzenia wirtualnych kopii małych obiektów muzealnych	Agnieszka Spytkowska	dr inż. Adam Boroń	2008
29	Fotogrametryczne metody inwentaryzacji złożonych, wielkogabarytowych rzeźb na przykładzie fontanny Potop w Coburgu	Karolina Augustynowicz	dr inż. Adam Boroń	2008

30	Skaning optyczny a metody fotogrametryczne w inwentaryzacji małych obiektów zabytkowych	Paweł Jachym	dr inż. Adam Boroń	2008
31	Analiza przydatności systemu PI 3000 w dokumentowaniu zabytkowych obiektów architektonicznych	Joanna Szczęch	dr inż. Adam Boroń	2009
32	Fotogrametryczna metoda wyznaczania kształtu powierzchni tynków dla potrzeb transferów malowideł ściennych	Paulina Kaproń	dr inż. Adam Boroń	2009

10. PODSUMOWANIE

Jak widać z powyższego opisu, w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej (przekształconym w 2007 roku na Katedrę Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska) od początku lat dziewięćdziesiątych prowadzono badania nad wykorzystaniem technik cyfrowych w procesie tworzenia i prezentacji dokumentacji obiektów zabytkowych. Udoskonalono istniejące i opracowano nowe technologie (konstrukcja autografu cyfrowego VSD, metody przetwarzania cyfrowego obrazów uzyskiwanych z kamer fotogrametrycznych lub aparatów fotograficznych zarówno analogowych jak i cyfrowych), które następnie sprawdzano w praktycznym zastosowaniu. Świadczy o tym duża ilość opracowań (tabela 1, 2 i 3) oraz publikacji pracowników Katedry.

11. LITERATURA

- Boroń A. 1996. Calibration of Digital Images Produced with the Use of UMAX 1200 SE Scanner, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Wiedeń, Austria Vol.XXXI, Part B1.
- Boroń A., Wróbel A. 1998. Opracowanie fotoplanu malowidła ze sklepienia kościoła O.O. Pijarów w Krakowie z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol.8, s. 17-1: 17-9.
- Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., Jachimski J. 2001. Photoplans of Historic Stronghold Walls in Abydos (Egypt), *CIPA 2001 International Symposium Surveying and Documentation of Historic Buildings, Monuments, Sites – Traditional and Modern Methods* Potsdam, Germany
- Boroń A., Borowiec M., Jachimski J., Wróbel A., 2002. Fotogrametryczna inwentaryzacja zabytkowych murów budowli z czasów starożytnego Egiptu. *Teledetekcja Środowiska*, Tom 33
- Boroń A., Borowiec M., Wróbel A., 2004. Kompleksowa, cyfrowa dokumentacja fotogrametryczna wzgórza zamkowego w Rabsztynie k. Olkusza. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 14.s 97-109
- Boroń A., Kocierz R., Wróbel A., 2006a. Metoda wytwarzania barwnych fotoplanów rozwinięć malowideł z powierzchni kolebkowych z wykorzystaniem kamery fotogrametrycznej i aparatu cyfrowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 16 str. 87-96
- Boroń A., Dziedzic A. 2006b. Wirtualna kopia relikwów romańskich z kościoła św. Andrzeja w Krakowie, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 16,
- Boroń A., Rząca A, Wróbel A, 2007 Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków, *Roczniki Geomatyki*, tom 5. zeszyt 8., str.129-140

- Borowiec M., Tokarczyk R. 1998. Komputerowa prezentacja wyników inwentaryzacji architektonicznej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol.8, s. 24-1: 24.8
- Borowiec M., Boroń A., Wróbel A. 2002. Cyfrowa dokumentacja fotogrametryczna murów Shunet el Zebib, *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja* t. 8, str. 239-248
- Cieślak J. 1999. Opracowanie fotoplanu malowideł fasety Klasztoru Cystersów w Lubiążu na podstawie kolorowych zdjęć niemetrycznych, *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja* t. 5,
- Jachimski J. 1993. Video Stereo Digitizer for LIS and GIS. *Materiały Konferencji „GIS for Environment”* Uniwersytet Jagielloński Kraków
- Jachimski J., Zieliński J. 1996. Digital Stereoplotter for Historic Monuments Recording, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Wiedeń, Austria Vol.XXXI, Part B5.
- Jachimski J., Zieliński J. 1998. VSD w inwentaryzacji zabytków *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol.8 s. 15-1: 15-18.
- Jachimski J. Mierzwa W. 1998. Metodyka sporządzania cyfrowego fotoplanu rozwinięcia na przykładzie malowideł biblioteki klasztoru Cystersów w Lubiążu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol.8, s. 47-56.
- Jachimski J., Mierzwa W. 2002. Representation of historical frescos using digital photogrammetry — Dokumentowanie zabytkowych fresków z wykorzystaniem fotogrametrii cyfrowej, w: *Geodezja, Photogrammetry and monitoring of environment, Wydawnictwo Oddziału PAN, Kraków* vol.39, str. 65-73,
- Klimkowska H., Wróbel A. 2006. Uwagi o wykorzystaniu tachimetrów bezlustrzonych w inwentaryzacji architektonicznej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledet.*, vol. 16
- Kosecka M., Tokarczyk R., 2005. Propozycja ekonomicznej metody fotogrametrycznej inwentaryzacji zabytków polskiej wsi z wykorzystaniem do rejestracji cyfrowych aparatów fotograficznych. *Geodezja: półrocznik AGH im.St.Staszica w Krakowie.*, t.11 z.2 s.281–289.
- Mierzwa W., Rzonca A. 2003. Skanowanie powierzchni, jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych, *Archiwum Fotogr.Kartogr i Teledet.*, vol. 13B,
- Rzonca A. 2002. Wizualizacja biblioteki byłego klasztoru OO. Cystersów w Lubiążu. *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja* ,t.8,
- Rzonca A. 2008. Integracja danych pozyskiwanych metodami fotogrametrycznymi i skanowania laserowego przy inwentaryzacji obiektów zabytkowych. Praca doktorska, Biblioteka Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH.
- Tokarczyk R., Gul M. 1999. Przestrzenna rekonstrukcja zabytkowego obiektu, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol.9
- Wróbel A., Boroń A., Borowiec M., Jachimski J. 2002. Informatyczny system udostępniania wyników cyfrowej inwentaryzacji fotogrametrycznej obiektów architektonicznych, *Zeszyty Naukowe AGH, Geodezja* t. 8
- Wróbel A. Blicharz M., Lisowska-Woś A. Kubica M. 2007. Propozycja uproszczonego opracowania metrycznego obiektów zabytkowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. vol. 17 s. 811-820

Praca została wykonana w ramach badań statutowych nr AGH 11.11.150.949.

**THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGY CONCERNING SURVEYS
OF HERITAGE OBJECTS BASED ON EXPERIENCES OF AGH DEPARTMENT
OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING INFORMATICS**

KEY WORDS: digital photogrammetry, documentation of heritage objects, photoplan, digital stereoplotter, visualization.

SUMMARY: The technology of surveys of heritage objects has been one of research subjects in the AGH Department of Photogrammetry since its very beginning. First, in research and works, only analogue methods, also the analogue orthophoto technique, were employed. In the 1990s, the digital techniques were initiated. It was in those years that the digital stereoplotter VSD AGH was constructed and developed. That plotter became a basic instrument for many tasks, mostly because it has many functions, especially applicable in terrestrial photogrammetry. This plotter can use digital metrical, as well as non-metrical photographs. The plotter output data are provided in a vector form, or in ASCII table with coordinates of points, as data for raster processing. The growth of technology of digital documentation in the raster form was possible thanks to the development of equipment for digital image acquisition (digital cameras, scanners), and also supported by the increased power of computers. There are three technologies applied: photoplans of high resolution, obtained with the simple method of projective transformation, photoplans of arched vault developments, and orthophoto technology. The new form of documentation – virtual 3D model of an object rendered with natural texture – is possible thanks to modern computer processing technique. In the Department, first virtual models were obtained in the last years of the 20th century. Presently, the laser scanning method is often used for the surveys of heritage objects. All the methods of photogrammetric heritage documentation developed in the Department are verified in practice during many survey projects in Poland or abroad. The results of research works and achieved experiences are helpful in teaching students on two facultative courses concerning photogrammetric documentation of historical objects. Many master's theses on that subject have been developed, dealing with various issues related to digital surveys. The paper includes list of heritage objects, which were documented in the Department by its staff and students. The list of master's theses on digital documentation is also included.

Dr inż. Adam Boroń
e-mail: boron.am@gmail.com
tel. +12 6173826
fax +12 6173993

Mgr inż. Marta Borowiec
e-mail: martabor@agh.edu.pl
tel. +12 6172272
fax +12 6173993

Dr inż. Andrzej Wróbel
e-mail: awrobel@agh.edu.pl
tel. +12 6173826
fax +12 6173993