

Adam Boroń
Józef Jachimski

INWENTARYZACJA KAPLICY ŚWIĘTOKRZYSKIEJ NA WAWELU Z WYKORZYSTANIEM METOD FOTOGRAMETRII CYFROWEJ*

1. Wprowadzenie

Fotogrametryczną inwentaryzację dzieł sztuki znajdujących się w Kaplicy Świętokrzyskiej przedsięwzięto w celu sporządzenia rysunków dokumentacyjnych, umożliwiających odtworzenie kształtu i dokładne wymiarowanie obiektów.

Podjętą inwentaryzację malowideł ściennych nowoczesną metodą analitycznej fotogrametrii cyfrowej, stworzono warunki dla opracowania dokumentacji zarówno w formie wirtualnej (cyfrowych obrazów komputerowych), jak i w formie wyrysów i wydruków komputerowych. Metoda ta daje możliwość sporządzania klasycznych, konturowych rysunków dokumentacyjnych (zwanych komputerową dokumentacją wektorową), a także możliwość sporządzania komputerowych obrazów półtonalnych, czarno-białych lub barwnych. Wydruki komputerowe barwne i czarno-białe posłużą jako precyzyjne podkłady do naniesienia na nie rejestru stanu zachowania malowideł, oraz zabiegów konserwatorskich, które wykonane będą w przyszłości.

Zdjęcia fotogrametryczne malowideł ściennych wykonano średnioformatowym aparatem fotograficznym Pentacon Six 60x60mm wyposażonym w obiektywy o ogniskowej 80mm i 50mm. Aby uzyskać ze zdjęć możliwie dobrą czytelność szczegółów, rejestrowano poszczególne sceny malowideł ściennych, lub fragmenty scen, na oddzielnych kłatkach filmu barwnego, jako oddzielne kadry. W miejscach trudno dostępnych małe fragmenty malowideł przysłonięte rzeźbami rejestrowano z wykorzystaniem obiektywu szerokokątnego (50 mm). W celu umożliwienia zdefiniowania metryczności obrazów malowideł, w pobliżu narożników każdego kadru rejestrowano niewielkie tarcze sygnalizacyjne o wymiarze 1x1cm (punkty dostosowania) przymocowane do powierzchni ściany klejem bezpiecznym dla malowidła (metylan). Tarcze te przyklejano na obrzeżu sceny, na ogół na obramowaniu, a nigdy w miejscach bogatych w treść ikonograficzną.

Zdjęcia fotogrametryczne malowideł na sklepieniu kaplicy wykonano kamerą stereometryczną wyposażoną w dwa sprzężone ze sobą aparaty Pentacon Six, przy czym, podobnie jak w przypadku ścian, każdą scenę rejestrowano na oddzielnym stereogramie. Jeśli kształt sklepienia zmieniał się w ramach sceny tematycznej, to rejestrowano na oddzielnych stereogramach fragmenty sceny namalowane na powierzchniach przestrzennych należących do różnych brył. Każdy stereogram wyposażano w co najmniej 6 sygnalizowanych punktów

* Praca zrealizowana w ramach projektu KBN: „Dokumentacja zabytków w ramach systemu informacji terenowej z wykorzystaniem kamer niemetrycznych i fotografii cyfrowej”

dostosowania, celem umożliwienia późniejszej orientacji stereogramu z wykorzystaniem funkcji DLT.

Dla zapewnienia równomiernego oświetlenia każdej sceny i jednolitych warunków oświetlenia wszystkich scen, zdjęcia wykonywano zawsze przy świetle sztucznym, w godzinach nocnych. Do oświetlania używano lamp halogenowych, ustawianych na stojakach, z dala od malowidła. Światło rozproszone uzyskiwano przy użyciu odpowiednich ekranów. Wystrzegano się mieszania światła dziennego ze światłem sztucznym, ponieważ zawsze prowadzi to do niestabilnej barwy oświetlenia, a w Kaplicy Świętokrzyskiej dodatkowo wiązało się z faktem, że dzieńne światło filtrowane było za pośrednictwem barwnych witraży. Rygorystycznie przestrzegano reżimu oświetlenia, aby uzyskać materiał zdjęciowy jednolity pod względem kolorystycznym.

Współrzędne punktów kontrolnych zasygnalizowanych tarczami w narożnikach kadrów zdjęć pojedynczych i na stereogramach określono z wykorzystaniem wielkoformatowych zdjęć czarno-białych wykonanych kamerą fotogrametryczną UMK-10/1318 Zeissa, które to zdjęcia dowiązano do lokalnego układu współrzędnych z wykorzystaniem geodezyjnych pomiarów teodolitowych. Pomiarów zdjęć formatu 13x18cm wykonano z wykorzystaniem precyzyjnego stereokomparatora Stecometer Zeissa, a blok terratriangulacji wyrównano programem ORIENT opracowanym na Politechnice w Wiedniu.

Wielkoformatowe zdjęcia czarno-białe mogą być również wykorzystane do opracowania inwentaryzacyjnych planów architektonicznych bryły wnętrza kaplicy.

Ogółem wykonano kamerą UMK 12 wielkoformatowych czarno białych stereogramów (dla których pomierzono geodezyjnie środki rzutów i punkty kontrolne), 78 ujęć malowideł ściennych zarejestrowano na barwnych negatywach formatu 6x6cm, oraz wykonano 26 barwnych stereogramów (52 zdjęcia) malowideł na sklepieniu Kaplicy. Dla zapewnienia poprawnych geometrycznych warunków dalszego opracowania wyznaczono ogółem współrzędne 18 sygnalizowanych punktów na posadzce oraz 375 sygnalizowanych punktów na ścianach i sklepieniu, z czego 85% punktów wyznaczono na podstawie wielkoformatowych zdjęć fotogrametrycznych z wykorzystaniem programu ORIENT.

Barwne zdjęcia 6x6cm wykorzystano do opracowania fotoplanów malowideł w uzgodnionej nietypowej skali 1:8, która została tak dobrana, aby optymalnie wykorzystać powierzchnię formatu A3 drukarki atramentowej HP-XL300, o rozdzielczości 300 dpi, która pozwala na wydrukowywanie obrazów barwnych, oraz czarno-białej drukarki laserowej tego samego formatu.

Opracowanie fotoplanów rozpoczęto od skanowania barwnych negatywów formatu 6x6cm. Skanowanie wykonano z rozdzielczością 1000 i 1200 dpi na wysokorozdzielczych, precyzyjnych skanerach fotogrametrycznych DSW-200 Leica w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie i Photoscan TD Intergraph w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH w Krakowie.

Przetwarzanie obrazów cyfrowych malowideł ściennych wykonano przy użyciu programu IRAS C pracującego w środowisku Microstation Intergraph (USA). Każdą scenę tematyczną, lub każdy płaski fragment sceny tematycznej malowanej na powierzchni wielopłaszczyznowej przetwarzano oddzielnie w oparciu o conajmniej 4 punkty dostosowania. Sceny wielopłaszczyznowe, a więc sceny wymagające rozwinięcia na jedną płaszczyznę odwzorowawczą (np. sceny na ścianie wschodniej po obu stronach wejścia do Kaplicy), przetwarzane były częściami, a następnie obrazy cyfrowe były mozaikowane (łączone) przed wydrukowaniem.

Opracowanie fotoplanów ściany północnej wykonano w barwach naturalnych. W trakcie opracowania okazało się jednak, że trudno jest uzyskać poprawne kolory, pomimo bardzo rygorystycznego przestrzegania warunków oświetlenia w czasie wykonywania zdjęć. Bardzo dużym wysiłkiem, przy wielokrotnym konfrontowaniu wydruków z malowidłami na obiekcie, które wykonywane było z udziałem specjalistów konserwatorów, Prof. Dr Władysława Zalewskiego i Mgr Agaty Mamoń, udało się uzyskać zadowalające barwne fotoplany malowideł ściany północnej. Powstały jednak znaczne opóźnienia realizacji zadania, wobec czego Zleceniodawca zdecydował, aby fotoplany dla pozostałych ścian wykonać w technice czarno- białej. W chwili obecnej wszystkie fotoplany malowideł ściennych zostały ukończone i wydrukowane w skali 1:8 z rozdzielczością 300 dpi. Posiadane materiały cyfrowe nadają się do wirtualnego (ekranowego) wykorzystania z wyższą rozdzielczością.

Fotoplany rozwinięć malowideł na sklepieniu wykonano również w technice czarno-białej. W pierwszym etapie wykonuje się pomiar na barwnych cyfrowych stereogramach dodatkowych punktów reprezentujących w taki sposób powierzchnię na której znajduje się malowidło, że każde trzy sąsiednie punkty tworzą trójkąt reprezentujący fragment powierzchni, który można z wystarczającą dokładnością aproksymować płaszczyzną (pomiar wykonano z wykorzystaniem stereoskopowej cyfrowej stacji fotogrametrycznej VSD-AGH). W oparciu o punkty reprezentujące powierzchnię na której znajduje się malowidło oblicza się z wykorzystaniem programu SURFER Golden Software Inc. numeryczny model fragmentu sklepienia, aproksymując go powierzchnią rozwijalną. W wyniku tej operacji każdy punkt na sklepieniu otrzymuje dodatkowe współrzędne na powierzchni rozwijalnej, które umożliwiają umiejscowienie tego punktu na płaszczyźnie rozwinięcia. Programy Intergraph z modułu IRAS-C umożliwiają wykonanie przetwarzania obrazu cyfrowego sklepienia na tak przygotowany podkład na płaszczyźnie rozwinięcia, przy czym treść obrazu przenoszona jest trójkąt po trójkacie z obrazu cyfrowego, tworząc fotoplan rozwinięcia malowideł znajdujących się na niepłaskim sklepieniu.

W ramach prac prowadzonych w Kaplicy Świętokrzyskiej wykonano oprócz wyżej omówionych prac, również inwentaryzację dwóch tryptyków: Św. Trójcy (rys. 1) oraz Matki Boskiej Bolesnej. Wykonano też inwentaryzację pomnika Biskupa Kajetana Sołtyka. Zdjęcia czarno-białe wykonano kamerą UMK i uzbrojono ogółem 29 punktami dostosowania. Na podstawie tych zdjęć opracowano dokumentację rysunkową części przestrzennych ołtarzy z wykorzystaniem analogowego autografu Stereometrograph. Płaskie malowidła znajdujące się na skrzydłach tryptyków zinwentaryzowano na filmie barwnym z wykorzystaniem aparatu Pentacon Six, a obrazy przetworzono metodą cyfrowej fotogrametrii jednoobrazowej, uzyskując po zmozaikowaniu wydruki barwnych fotoplanów (rys.2).

2. Założenie i pomiar osnowy fotogrametrycznej

Kaplica Świętokrzyska na Wawelu jest obiektem o niewielkich wymiarach w rzucie poziomym (6x10 m) i dużej wysokości (8.5m), charakterystycznej dla budowli gotyckich. Na tej niewielkiej powierzchni znajduje się szereg innych obiektów zabytkowych: dwa średniowieczne ołtarze (tryptyki), barokowy pomnik biskupa Sołtyka oraz grobowiec Jagiellończyka. Wszystkie te obiekty oraz ściany i sklepienie kaplicy wymagały zasygnalizowania i pomiaru punktów stanowiących osnowę fotogrametryczną dla wykonywanej inwentaryzacji.

Rys. 1: Oltarz Św. Trójcy

(strona lewa: fragment zdjęcia pomiarowego, strona prawa: opracowanie kreskowe w skali 1:10)

Rys. 2. Jedno ze skrzydeł tryptyku Św. Trójcy
(strona lewa: zmontowany fotoplan skrzydła, strona prawa: rysunek wektorowy skrzydła /VSD/)

Jako sygnały wykorzystano znaczki papierowe z koncentrycznymi biało-czarnymi pierścieniami i krzyżykiem pośrodku najmniejszego białego kręgu (dla pomiarów teodolitowych). Wymiary tych znaczków uzależnione były od skali zdjęć pomiarowych i zawierały się w przedziale od 20 do 8mm. Ze względu na klasę obiektu należało zastosować taką metodę przyklejania znaczków aby nie uszkodzić zabytków, jak również umożliwić łatwe usunięcie znaczków po zakończonych pracach inwentaryzacyjnych. Po konsultacjach z konserwatorami jako lepsze dla znaczków na ścianach i sklepieniu wykorzystano klej

metylan (klej do tapet) łatwo usuwalny wodą, a dla tryptyków dwustronnie klejącą taśmą łatwo usuwalną rozpuszczalnikiem. Osobny problem stanowił nieinwazyjny dla obiektu sposób przyklejania znaczków. Nie wchodziło w grę przystawianie drabin do ścian czy ołtarzy. Rozwiązano ten problem wykorzystując specjalnie skonstruowane przesuwne rusztowanie z którego miały być wykonywane zdjęcia, oraz geodezyjną tyczkę składaną. Do tyczki zakończonej miękką końcówką z korka przyklejano lekko znaczek z nałożoną zewnętrzną warstwą kleju (lub przyklejoną taśmą dwustronną), a następnie za pośrednictwem tyczki o odpowiedniej długości dotykano obiektu pozostawiając na nim przyklejony w odpowiednim miejscu znaczek.

Osnowę podstawową dla pomiarów geodezyjnych stanowiło 18 punktów zastabilizowanych na posadzce kaplicy identycznymi znaczkami jak opisane wyżej. Ze względu na niewielkie odległości pomiędzy nimi oraz płaskość posadzki zdecydowano określić ich współrzędne metodą pomiarów liniowych. Ogółem pomierzono pomiędzy nimi 47 odległości ruletką z dokładnością $\pm 0.5\text{mm}$. Sieć liniową wyrównano z wykorzystaniem programu Geodezja. W wyniku wyrównania uzyskano błąd średni położenia punktu $m_p = \pm 0.4\text{mm}$. W dalszej kolejności wykonano niwelację wszystkich punktów posadzki z dokładnością $\pm 0.5\text{mm}$.

Znajomość współrzędnych punktów osnowy podstawowej umożliwiła określenie współrzędnych punktów zasygnalizowanych na obiekcie. Ze względu na bardzo trudne warunki pomiaru bezpośredniego (stromo celowe, do 70°) oraz niekorzystną geometrię wcięć do wielu punktów, zdecydowano pomierzyć bezpośrednio tylko te punkty które będą niezbędne do fotogrametrycznego zagęszczenia osnowy z wykorzystaniem stereogramów zdjęć metrycznych. Ogółem pomierzono bezpośrednio metodą biegunową (punkty na wysokości do 2m od posadzki), oraz metodą wcięć przestrzennych ok. 50 punktów na ścianach i sklepieniu.

W dalszej kolejności wykonano 12 stereogramów kamerą UMK 10/1318 obejmujących sklepienie, wszystkie ściany kaplicy oraz pomnik biskupa Sołtyka i dwa ołtarze. Wszystkie te stereogramy posłużyły do zagęszczenia osnowy fotogrametrycznej. Dodatkowo określono metodą biegunową współrzędne środków rzutów kamer. Zdjęcia pomiarowe pomierzono na Stecometrze, a wyrównanie bloku terratriangulacji wykonano z wykorzystaniem programu Orient. Ogółem określono współrzędne 375 punktów osnowy fotogrametrycznej w lokalnym układzie przestrzennym zorientowanym równolegle do głównych osi kaplicy.

Dla kilku fragmentów malowidła za pomnikiem Sołtyka, nieodfotografowanych na zdjęciach pomiarowych z UMK, oraz niedostępnych do pomiaru geodezyjnego, pomierzono odległości pomiędzy punktami kontrolnymi. Współrzędne płaskie tych punktów X,Z, dowiązane do układu ściany, określono z wykorzystaniem modułu do wyrównania sieci liniowej w VSD.

Dodatkowo dla dwóch ołtarzy określono współrzędne przestrzenne 25 fotopunktów. Współrzędne wyznaczono metodą geodezyjnych wcięć przestrzennych w lokalnych układach obu ołtarzy.

Inną grupę punktów dostosowania stanowiły znaczki przyklejone do ruchomych skrzydeł ołtarzy i służące do przetwarzania malowideł znajdujących się w kwaterach skrzydeł. Ogółem zasygnalizowano 48 punktów dla 16 kwater na 4 skrzydłach. Współrzędne płaskie w lokalnych układach każdego skrzydła wyznaczono na podstawie pomierzonych wszystkich odległości pomiędzy znaczkami dla dwóch kwater na jednej płaszczyźnie skrzydła (6

znaczków i 15 odległości). Wielkości współrzędnych wyznaczono z wyrównaniem wykorzystując moduł VSD do wyrównania sieci liniowej.

Współrzędne wszystkich punktów osnowy fotogrametrycznej określone zostały z błędem rzędu ± 1 mm.

3. Inwentaryzacja malowideł ściennych

Malowidła ścienne w kaplicy, dla potrzeb inwentaryzacyjnych, fotografowane były aparatem Pentacon Six (format 6x6cm) na materiale negatywowym Fuji o czułości 200 ASA, dla światła sztucznego. Oświetlenie zapewniały lampy halogenowe 1000 W. Zdjęcia wykonywano w taki sposób, aby każdy kadr zawierał jedną scenę malowidła w jak największej skali. Starano się w miarę możliwości wykonywać zdjęcia frontalnie zapewniając w ten sposób jak najmniejsze zniekształcenia perspektywiczne obrazu. Zdjęcia wykonywano z przesuwnej rusztowania z wykorzystaniem 5 metrowego, pneumatycznego wężyka spustowego. Po skadrowaniu i ustaleniu parametrów ekspozycji rusztowanie opuszczano, a po ustaniu drgań konstrukcji dokonywano ekspozycji w/w wężykiem. W każdym kadrze odfotografowywano co najmniej cztery punkty kontrolne. Dla zmniejszenia błędów szcztątkowych przesunięć radialnych związanych z niepłaskością ściany stosowano obiektyw normalnokątny o ogniskowej 80mm. W szczególnych przypadkach, gdy nie było możliwości oddalenia się (fragmenty malowidła za pomnikiem Sołtyka) stosowano obiektyw szerokokątny o ogniskowej 50 mm.

Dla ściany północnej i południowej sfotografowano po 12 scen. Dla ściany zachodniej 19 scen, a dla ściany wschodniej, najbardziej rozbudowanej, wykonano zdjęcia 35 scen. Ogółem, dla uzyskania fotopłanów ścian, przetwarzaniu poddano 78 zdjęć.

Negatywy zeskanowano z rozdzielczością 1000 dpi dla ściany północnej (1 piksel = 25x25 μ m) i 1200 dpi dla pozostałych (1 piksel = 20x20 μ m). Przy średniej skali zdjęć 1:40 wymiar piksela w skali obiektu wynosił średnio 1x1 mm.

Przetwarzanie obrazów cyfrowych malowideł ściennych wykonano z wykorzystaniem modułu IRAS C systemu MICROSTATION f-my INTERGRAPH. Do resamplingu obrazów wykorzystano funkcję transformacji rzutowej, która wymagała minimum 4 punktów dostosowania. Przed wykonaniem przetwarzania wykonywano transformację fotopunktów z przyjętego układu odniesienia do układu ściany. Przy tworzeniu dokumentacji przyjęto zasadę, że jednostką jest pojedyncza scena malowidła. Przetworzone obrazy posiadały w przybliżeniu podobną rozdzielczość jak obrazy źródłowe. Dla wszystkich przetworzonych obrazów przyjęto wynikową rozdzielczość 1x1mm w skali obiektu. Takie postępowanie umożliwiło dowolne łączenie przetworzonych obrazów w większe całości (mozaikowanie). Miało to szczególne znaczenie w sytuacji gdy dla jednej sceny wykonano kilka zdjęć (rys.3). Wielopłaszczyznowa ściana wschodnia, na której pojedyncze sceny malowane były na różnych płaszczyznach, wymagała przygotowania osnowy dla rozwinięcia tych scen na jedną płaszczyznę. Po przetworzeniu pojedynczych zdjęć na swoje płaszczyzny mozaikowanie przetworzonych obrazów wykonywano na wspólną osnowę rozwinięcia (rys. 4).

Rys. 3: Fotoplan fragmentu ściany północnej (połączone trzy przetworzone obrazy)

Rys. 4: Przykładowy szkic rozmieszczenia przetworzonych scen na ścianie wschodniej kaplicy (sceny pokazano w rozwinięciu na jedną płaszczyznę)

Dla uzyskania wydruków przetworzonych scen w skali 1:8 (ustalona skala opracowania) wykonano resampling przeskalowujący i zmieniający rozdzielczość obrazów dostosowujący rozdzielczość i skalę wydruku do naszych potrzeb. Resampling ten wykonywany był z wykorzystaniem programu PHOTOSHOP. Dla ustalenia skali wydruku konieczne było określenie współczynnika przeskalowania z porównania odcinków na obrazie przetworzonym pierwotnie z wymaganą jego długością w skali 1:8 na wydruku. Rozdzielczość wydruku przyjęto dla wszystkich obrazów jako 300 dpi.

4. Półtonalna dokumentacja malowideł ze sklepienia wielokolebkowego w rozwinięciu na płaszczyznę

Sklepienie Kaplicy Świętokrzyskiej, jak to wcześniej wspomniano, jest bardzo rozbudowane przestrzennie. Powierzchnia sklepienia składa się z szeregu powierzchni walcowych, które wzajemnie się przenikają. W wyniku tego powstają wyraźnie wydzielone części sklepienia, na którego obłych powierzchniach artysta piętnastowieczny uwiecznił sceny biblijne i zdobienia w stylu bizantyjskim (rys. 5).

Każdy fragment sklepienia zawiera wydzieloną scenę, jest spójny zarówno pod względem ikonograficznym, jak i pod względem przestrzennego kształtu, a w konsekwencji wymaga indywidualnego potraktowania w procesie sporządzania dokumentacji.

Rys. 5: Fragment sklepienia Kaplicy Świętokrzyskiej na Wawelu (zdjęcie pomiarowe z kamery UMK)

Malowidła znajdujące się na sklepieniu Kaplicy Świętokrzyskiej zarejestrowane zostały na stereogramach dwukrotnie: kamerą UMK 10/1318 na kliszach, oraz aparatem fotograficznym Pentacon Six na filmie barwnym. Barwne stereogramy wykonano w taki sposób, aby każda scena w całości mieściła się na jednym stereogramie (rys.6). Punkty kontrolne określone częściowo metodą geodezyjną, a głównie ze zdjęć formatu 13x18cm, były wystarczająco liczne, aby każdy stereogram niometryczny mógł być dobrze określony metodą DLT w układzie współrzędnych Kaplicy.

Rys. 6: Stereogram dla jednej wydzielonej powierzchni na sklepieniu wykonany sprzężonymi aparatami Pentacon Six

Barwne zdjęcia formatu 6x6cm zeskanowano na precyzyjnym skanerze Photoscan TD Zeiss-Intergraph z rozdzielczością 1200 dpi.

Orientację i pomiar niemetrycznych barwnych stereogramów wykonano z wykorzystaniem autografu cyfrowego VSD. Na każdym stereogramie pomierzono wszystkie widoczne tam punkty kontrolne, których liczba z reguły znacznie przewyższała minimum niezbędne do wykonania orientacji metodą DLT. Pomiar stereogramów na VSD obejmował gęstą sieć punktów rozmieszczonych regularnie na powierzchni sklepienia. Punkty te opisują powierzchnię badanego wycinka sklepienia z bardzo wysoką precyzją (rys. 7).

Rys. 7: Zdjęcie z zaznaczonymi punktami pomierzonymi dla określenia kształtu powierzchni sklepienia (11cm)

Z wykorzystaniem programu SURFER funkcją Kriging wyinterpolowano regularną siatkę o wymiarach 10x2cm, która obejmuje powierzchnie całego badanego wycinka sklepienia. Dłuższy bok siatki zaprojektowano wzdłuż osi układu w przybliżeniu równoległej do tworzącej walca którym można by opisać mierzoną powierzchnię sklepienia. Regularna siatka prostokątów stworzyła Numeryczny Model Sklepienia (NMS), i pozwoliła na wyinterpolowanie warstwic. Analiza przebiegu tych warstwic pozwoliła określić kąty

Rys. 8: Fotoplan jednej z kwater sklepienia (połączone rozwinięcia dwóch powierzchni)

o jakie należy skrócić i nachylić układ współrzędnych, aby warstwy wyinterpolowane po transformacji stanowiły rodzinę linii prostych, wzajemnie równoległych, w miarę możliwości równomiernie rozmieszczonych. Tą metodą dobierano położenie lokalnego układu współrzędnych do położenia osi powierzchni walcowych składających się na sklepienie Kaplicy Świętokrzyskiej.

W układzie ostatecznie tak dobranym, aby był równoległy do osi walca określającego powierzchnię opracowywanego fragmentu sklepienia, ponownie funkcją Kriging interpolowano regularną siatkę stanowiącą ostateczny NMS. Taka siatka mogła już być rozwinięta na płaszczyznę. Rozwinięcie następowało wzdłuż tej osi siatki, która nie była równoległa do osi walca. W oparciu o tę siatkę NMS obliczono współrzędne w rozwinięciu dla wszystkich punktów pomierzonych na sklepieniu, a stanowiących na powierzchni sklepienia gęstą siatkę trójkątów. Współrzędne na płaszczyźnie rozwinięcia określono przez sumowanie przestrzennych odległości między wierzchołkami siatki NMS (wykorzystano do tego celu program opracowany przez Dr W. Mierzwę). Tak powstały dwa zbiory współrzędnych obrazów punktów położonych na powierzchni sklepienia: zbiór obrazów punktów położonych na cyfrowym barwnym obrazie sklepienia, oraz zbiór odwzorowań tych punktów na płaszczyźnie rozwinięcia. Te dwa zbiory punktów homologicznych posłużyły do wykonania różniczkowego przetwarzania cyfrowych barwnych obrazów sklepienia. Resampling, który poległ na odpowiednim przeskalowaniu i obrocie elementarnych trójkątów, wykonano z wykorzystaniem programu IRAS C Intergraph. Ten program posłużył też do łączenia przetworzeń cząstkowych w całościowe fotoplany wydzielonych fragmentów sklepienia (rys. 8).

Barwne fotoplany wirtualne stanowią podstawowy efekt prac inwentaryzacyjnych. Przechowywane są na płytach CD w oryginalnej rozdzielczości 1200 dpi. Na podstawie tych materiałów wykonać można wydruki fotoplanów, przy czym sprzęt do wizualizacji powoduje, że rozdzielczość obrazu na wydruku musi ulec znacznej redukcji (do 300 lub 600 dpi).

Literatura

1. J. Jachimski, W. Mierzwa, 1998, *Metodyka sporządzania cyfrowego fotoplanu rozwinięcia na przykładzie malowideł biblioteki klasztoru Cystersów w Lubiążu*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 8, Kraków 1998;
2. Wróbel A., Boroń A., *Opracowanie fotoplanu sklepienia kościoła oo Pijarów w Krakowie z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 8, Kraków 1998.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Jerzy Bernasik