Marta Kosecka*, Regina Tokarczyk*

PROPOZYCJA EKONOMICZNEJ METODY FOTOGRAMETRYCZNEJ INWENTARYZACJI ZABYTKÓW POLSKIEJ WSI Z WYKORZYSTANIEM DO REJESTRACJI CYFROWYCH APARATÓW FOTOGRAFICZNYCH**

1. Wstęp

Na odnowę zabytków takich miast jak Kraków przeznacza się niemałe sumy i można się przekonać naocznie, że nie są to pieniądze zmarnowane. Prace konserwacyjne i renowacyjne są finansowane zarówno z budżetu państwa, jak i – coraz częściej – przez firmy, których reklamy przysłaniające remontowany obiekt niekiedy nas irytują.

Wystarczy jednak wyjechać poza miasto, aby stwierdzić, że los prowincjonalnych zabytków jest inny: zobaczyć można niszczejące obiekty, będące świadectwem naszej historii. Dzieje się tak przede wszystkim dlatego, iż środki, jakie mogą być przeznaczone na cele renowacyjne czy konserwacyjne, są tu o wiele mniejsze niż w wypadku większych miast. Wynika to z faktu, że poza kulturą jest wiele innych dziedzin życia publicznego, takich jak np. oświata, nauka, medycyna, które także wymagają wsparcia finansowego ze strony państwa. Brak zainteresowania ze strony prywatnych sponsorów z kolei spowodowany jest niezbyt atrakcyjnym położeniem takiego zabytku z dala od innych interesujących obiektów lub szlaków turystycznych. Bez odpowiedniej konserwacji, na skutek czynników zewnętrznych obiekty takie, zniszczone i zaniedbane, stoją, czekając jedynie na rozbiórkę. Stanowią jednak część historii i dobrze by było, aby pozostał po nich ślad, choćby w postaci dokumentacji, na podstawie której można odtworzyć, nawet w środowisku wirtualnym, wygląd takiego obiektu.

Warto zatem popierać wszelkie inicjatywy i prace zmierzające do fotogrametrycznej inwentaryzacji tych zabytków. Będące jej efektem wirtualne, trójwymiarowe modele udostępniane przez Internet na stronach internetowych gmin, w których te obiekty się znajdują, mogą stać się nie tylko magnesem przyciągającym turystów, ale i potencjalnych inwestorów.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

** Publikacja opiera się na pracy dyplomowej Marty Koseckiej *Zastosowanie programu Orpheus do trójwymiarowej inwentaryzacji zabytków*, napisanej pod kierunkiem dr inż. Reginy Tokarczyk. Praca wykonana w ramach badań statutowych, umowa AGH nr 11.11.150.459

Celem prezentowanych tu badań było opracowanie prostej i taniej technologii prac terenowych, która umożliwiłaby zbieranie pełnowartościowych materiałów pomiarowych do ewentualnej inwentaryzacji nie tylko wyspecjalizowanym w tym kierunku firmom lub zespołom fotogrametrycznym, ale np. studentom tych kierunków, które w swych programach nauczania mają geodezję i fotogrametrię. Dokumentacja fotogrametrycznej inwentaryzacji zebrana w pracach dyplomowych, podczas praktyk czy obozów naukowych mogłaby w razie potrzeby i możliwości być wykorzystana do odtworzenia zabytkowego obiektu, być może już nieistniejącego.

2. Główne założenia proponowanej metodyki pomiaru fotogrametrycznego

Wymagania dotyczące inwentaryzacji obiektu architektonicznego zawarte są w Wytycznych technicznych G-3.4: *Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury* wydanych w roku 1980 przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii [10]. Zadaniem inwentaryzacji jest zebranie informacji na temat usytuowania obiektu w odniesieniu do otoczenia, jego układu przestrzennego, wymiarów obiektu i jego elementów składowych oraz wyglądu w momencie wykonywania prac inwentaryzacyjnych w celu sporządzenia dokumentacji. Materiały te występować mogą w postaci graficznej, opisowej i fotograficznej. Są to głównie rysunki rzutów i przekrojów w zdefiniowanych płaszczyznach, a także rysunki lub zdjęcia detali. Obecnie stopniowo wraz z rozwojem technik komputerowych odchodzi się od tego sposobu inwentaryzacji. Bardziej uniwersalna i kompletna jest dokumentacja w postaci cyfrowej, gdzie w pliku wektorowym przechowywane mogą być zarówno rzuty i przekroje obiektu, jak i pełen model zawierający wszystkie krawędzie, z którego dopiero wygenerować można interesujący odbiorcę produkt – przekrój w dowolnym miejscu bądź rzut kondygnacji.

Spośród różnych metod pozyskiwania danych wektorowych i rastrowych definiujących kształt i wygląd obiektu lub jego elementów najczęściej wykorzystywane są obecnie metody fotogrametryczne: jednoobrazowe i stereoskopowe. Opracowania stereoskopowe wymagają sprzętu do przestrzennej obserwacji, umiejętności pomiaru stereoskopowego, ale w przypadku znaczącej większości obiektów architektonicznych są niezbędne, gdyż umożliwiają jednoznaczną identyfikację tych samych punktów na dwu zdjęciach, a w konsekwencji wyznaczenie jego przestrzennego położenia. Pomiary monoskopowe są możliwe w przypadku szczegółów dobrze zdefiniowanych, dotyczą zatem obiektów o wyraźnych krawędziach i narożnikach. Takie są zazwyczaj zabytkowe obiekty na prowincji: małe dworki, szkoły, stare chaty, młyny, kuźnie itp.

Wybór optymalnej zdaniem autorów metody pomiaru fotogrametrycznego poprzedzono przyjęciem następujących założeń:

— rejestracja obrazów za pomocą powszechnie dostępnego sprzętu,
— łatwa i trwała archiwizacja obrazów,
— łatwość wykonania zdjęć,
— proste pomiary geodezyjne w celu zapewnienia osnowy,
— możliwość późniejszego opracowania komputerowego bez urządzeń do uzyskania sztucznego efektu stereoskopowego.

Możliwość spełnienia powyższych założeń sprawdzono przez wykonanie kompleksowej trójwymiarowej komputerowej inwentaryzacji zewnętrza zabytkowego młyna wodnego w Raciborowicach, wsi w gminie Michałowice, na północ od Krakowa. Wynik tej inwentaryzacji – trójwymiarowy model młyna – spełnia wymagania Wytycznych technicznych G-3.4 [10], oferując ponadto możliwość fotorealistycznej prezentacji, która może być udostępniona zainteresowanym poprzez sieć internetową.

3. Rejestracja fotograficzna

Znacząca większość fotogrametrycznych inwentaryzacji obiektów architektonicznych dokonywana jest z użyciem do rejestracji obrazów specjalistycznego sprzętu, jakim są kamery fotogrametryczne. Klasyczna analogowa naziemna kamera fotogrametryczna umożliwia robienie zdjęć o dużych formatach (w porównaniu z aparatem fotograficznym), ma bardzo dobry obiektyw, znane i stabilne parametry rzutowania (elementy orientacji wewnętrznej), urządzenia do zorientowania wykonanego zdjęcia w stosunku do układu odniesienia.

Do obsługi tego sprzętu konieczne jest posiadanie odpowiednich kwalifikacji, jest on stosunkowo ciężki, bardzo drogi, dysponują nim w zasadzie tylko firmy fotogrametryczne. W przeszłości czynione były doświadczenia z wykorzystaniem analogowych aparatów fotograficznych do fotogrametrycznej inwentaryzacji, ale wymaganiom dokładnościowym sprostały tylko kamery semimetryczne, w których minimalizować można wpływ niepłaskości materiału negatywowego.

Obecnie, kiedy stosowane są głównie opracowania komputerowe, obrazy analogowe wymagają skanowania za pomocą bardzo drogich skanerów fotogrametrycznych.

Alternatywym rozwiązaniem są kamery cyfrowe, których stosowanie likwiduje „wąskie gardło" fotogrametrii, jakim jest proces negatywowy. Cyfrowe kamery fotogrametryczne są sprzętem jeszcze unikatowym, bardzo drogim, natomiast coraz częściej spotyka się wykorzystanie do celów pomiarowych cyfrowych aparatów fotograficznych [2, 5, 6].

Dynamiczny rozwój technologii cyfrowych w ostatnich latach spowodował, że obecnie dostępne są za niezbyt wygórowaną dla przeciętnych użytkowników cenę aparaty o rozdzielczości 4÷8 milionów pikseli, w tym lustrzanki jednoobiektywowe, z manualnym ogniskowaniem, cechą szczególnie pożądaną przy wykonaniu zdjęć pomiarowych.

Jakie cechy powinien mieć aparat, który ma być użyty do rejestracji obrazu dla celów pomiarowych, jakie warunki powinien spełnić?

Po pierwsze, jego rozdzielczość winna być taka, aby wielkość piksela na obiekcie była mniejsza od żądanej dokładności pomiaru. Zatem jest to cecha uzależniona od wielkości rejestrowanego obiektu: zdjęcia muszą być wykonane w możliwie największej skali, ale jednocześnie powinno się dążyć do minimalizowania ich liczby.

Po drugie, parametry rzutu środkowego, a więc położenie środka rzutów względem obrazu, winny być stabilne i w przypadku większości opracowań – znane. W odróżnieniu od analogowych aparatów, cyfrowe mają świetnie zdefiniowany układ obrazu, rolę znaczków tłowych kamery pomiarowej przejmują tu narożniki skrajnych pikseli formatu.

Sprawdzenie, czy dany aparat spełnia drugi warunek, jest postępowaniem bardzo prostym i możliwym do przeprowadzenia bez jakiegokolwiek specjalistycznego sprzętu [2]. Warunek ten spełniają aparaty z manualnym ustawianiem odległości obrazowej i ze stałą ogniskową obiektywu (najczęściej lustrzanki); gorzej jest z kompaktami z automatycznym ustawieniem ostrości i zoomem optycznym, co dotyczy większości aparatów cyfrowych. Jak wykazały doświadczenia [1, 5], można także w przypadku tych aparatów uzyskać powtarzalność odległości obrazowej, wykorzystując na przykład funkcję nastawienia na nieskończoność lub pamięć ostrości, jednak powtarzalność ta musi być przebadana, bo jest często cechą danego egzemplarza, a nie modelu.

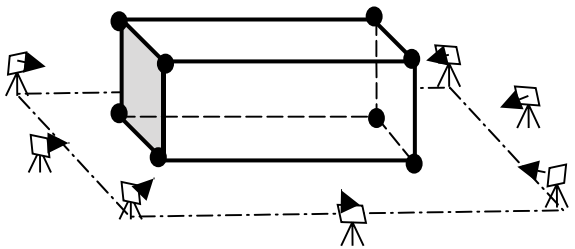
Dopiero potwierdzenie stabilności orientacji wewnętrznej aparatu nadaje sens jego kalibracji – procedurze wyznaczenia parametrów rzutowania, zazwyczaj dokonywanej na odpowiednim polu testowym. Pole to w większości przypadków składa się z dużej liczby sygnalizowanych punktów rozmieszczonych tak, aby umożliwić optymalne wyznaczenie nie tylko elementów orientacji wewnętrznej (położenie punktu głównego zdjęcia x_0, y_0 i odległość obrazowa c_k), ale i parametrów dystorsji obiektywu. Skonstruowanie dobrego stałego pola do kalibracji jest przedsięwzięciem wymagającym przede wszystkim posiadania odpowiedniego pomieszczenia, bowiem dobre pole testowe – to pole w miarę uniwersalne, zatem jeśli ma być używane do kalibracji aparatów o różnych kątach rozwarcia obiektywu i dla różnych odległości obrazowych – powinno być odpowiednio duże. Natomiast skonstruowanie pola jednorazowego jest proste, jeśli wykorzystamy do obliczeń procedurę samokalibracji, może to być nawet pole płaskie (Camera Calibration ToolBox, PhotoModeler). Obliczenie sieci samokalibracji umożliwiają darmowe programy, takie jak na przykład Aerosys [6, 7] czy Camera Calibration ToolBox for Matlab [8, 9].

Parametry kalibracji można wyznaczyć też na podstawie samokalibracji zdjęć mierzonego obiektu [5], wymaga to jednak zapewnienia korzystnej geometrii sieci zdjęć, pomierzenia na nich dużej liczby wspólnych punktów (odpowiednio rozmieszczonych), wykonanie sieci zdjęć o ustabilizowanych parametrach ogniskowania i zastosowania na obiekcie dość znacznej liczby fotopunktów.

4. Prace terenowe – osnowa geodezyjna i wykonanie zdjęć

Osnowa geodezyjna w fotogrametrii ma dwojakie znaczenie: ma nawiązywać wykonaną sieć zdjęć do układu terenowego oraz podnosić dokładność pomiaru fotogrametrycznego. Do umiejscowienia w trójwymiarowej przestrzeni modelu obiektu skonstruowanego na podstawie zdjęć teoretycznie wystarczą trzy punkty osnowy (dla dwu *X*, *Y*, *Z*, dla trzeciego – tylko jedna ze współrzędnych), ale to niezbędne minimum nie dostarcza żadnej kontroli wpasowania, poza tym, jeśli wykonywana jest samokalibracja, bez wystarczającej liczby fotopunktów, rozwiązanie sieci może nie być satysfakcjonujące. Pomiary inwentaryzacyjne przeprowadzane są zwykle w lokalnym układzie odniesienia, najczęściej związanym w jakiś sposób z obiektem (np. jedna z osi może być równoległa do jednej ze ścian budynku). Liczba i rozmieszczenie fotopunktów są uzależnione od metody pomiaru fotogrametrycznego (zdjęcia pojedyncze czy stereogramy), od kształtu i wielkości obiektu oraz od żądanej dokładności pomiaru.

Sieć niemetrycznych zdjęć z aparatów fotograficznych wykonanych dla celów inwentaryzacji powinna być co najmniej tak gęsta jak w przypadku przedstawionym na rysunku 1 [za: 3]. Tam, gdzie to jest niezbędne, należy wykonywać stereogramy, dodatkowo uzupełniając je zdjęciami zbieżnymi. Minimalną liczbę fotopunktów i ich rozmieszczenie pokazuje również rysunek 1.



Rys. 1. Przykład rozmieszczenia stanowisk fotografowania i fotopunktów dla obiektu prostopadłościennego

W praktyce zwiększenie liczby fotopunktów nie jest problemem – jeśli już zakłada się osnowę pomiarową zwykle dookoła obiektu, to nie ma większego znaczenia, czy mierzymy ich 8, czy więcej. Jeżeli planuje się kalibrację kamery na podstawie zdjęć obiektu, należy zwiększyć liczbę fotopunktów.

5. Opracowanie zdjęć

Sposób opracowania zdjęć jest uzależniony przede wszystkim od tego, czy wykonano zdjęcia stereoskopowe, czy też sieć zdjęć pojedynczych. Ale zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku najczęściej trzeba przeprowadzić obliczenie i wyrównanie sieci zdjęć; w wypadku stereogramów pozwala to na zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej w celu uzyskania odpowiedniej liczby fotopunktów do orientacji bezwzględnej, w wypadku sieci pojedynczych zdjęć – równoczesne wyznaczenie ich orientacji i określenie przestrzennych współrzędnych punktów tworzących model obiektu.

Pomiar zdjęć i obliczenie sieci wykonać można na stacjach fotogrametrycznych, ale założeniem proponowanej tu metody jest możliwość opracowania bez specjalistycznego sprzętu do obserwacji stereoskopowej. Taką możliwość dają niektóre programy, na przykład popularny PhotoModeler, Topcon PI-3000, omówiony w niniejszym opracowaniu Orpheus.

Pozwalają one nie tylko na pomiar zdjęć i wykonanie potrzebnych obliczeń, ale również na prezentację graficzną mierzonego obiektu w przestrzeni trójwymiarowej. W programach tych monoskopowy pomiar zdjęć ułatwiony jest przez możliwość identyfikacji tego samego punktu na różnych zdjęciach w otwartych równocześnie „oknach", a nawet zastosowanie do tego celu automatycznego matchingu (Topcon PI-3000). Wyrównanie sieci metodą wiązki bywa wielowariantowe, z możliwością wprowadzania warunków na niewiadome lub obserwacje, wyrównaniu mogą podlegać też obserwacje geodezyjne (Orpheus).

Wyznaczenie przestrzennych współrzędnych punktów obiektu nie jest oczywiście celem pomiaru inwentaryzacyjnego, a jedynie początkowym jego etapem. Punkty połączone w odpowiedni sposób liniami dają model szkieletowy, a jego pokrycie kolorem lub fotorealistycznymi teksturami – model powierzchniowy.

Najbardziej popularnym formatem przechowywującym dane przestrzenne o obiekcie w postaci wektorowej są pliki typu CAD-DXF, DWG, DGN, obsługiwane przez programy takie, jak AutoCAD czy MicroStation. Programy te umożliwiają *rendering*, czyli pokrycie danego modelu wektorowego kolorem, dowolną teksturą dostępną w bibliotece materiałów lub zdjęciem. Jeśli opracowany został cały obiekt, użytkownik ma możliwość zadecydowania, który fragment najbardziej go interesuje, może powiększyć dowolny detal, zrobić przekrój w wybranym miejscu lub rzut dowolnej kondygnacji w przypadku budynku. Korzyści płynące z takiego opracowania są oczywiste. Poza atrakcyjnością wizualną i estetyczną, największą zaletą takiej inwentaryzacji jest zawartość kompleksowych informacji o wymiarach obiektu. W przypadku trójwymiarowych modeli pokrytych teksturami uwzględniana jest informacja o materiale, kolorze oraz o stanie obiektu w czasie wykonywania opracowania. Możliwości są niemal nieograniczone, łącznie z przypisaniem dowolnych informacji opisowych w sposób zależny od środowiska, w którym dany obiekt jest opracowywany. Zwiększa to przystępność takich opracowań dla przeciętnego odbiorcy, w przeciwieństwie do prezentacji tradycyjnych planów 2D, rzutów czy przekrojów przeznaczonych dla węższego grona użytkowników o bardziej rozwiniętej wyobraźni przestrzennej. Zmienia się to wraz z rozwojem technik komputerowych, a w szczególności Internetu.

Zapisanie modelu obiektu w formacie VRML pozwala na jego udostępnienie w sieci poprzez większość przeglądarek internetowych.

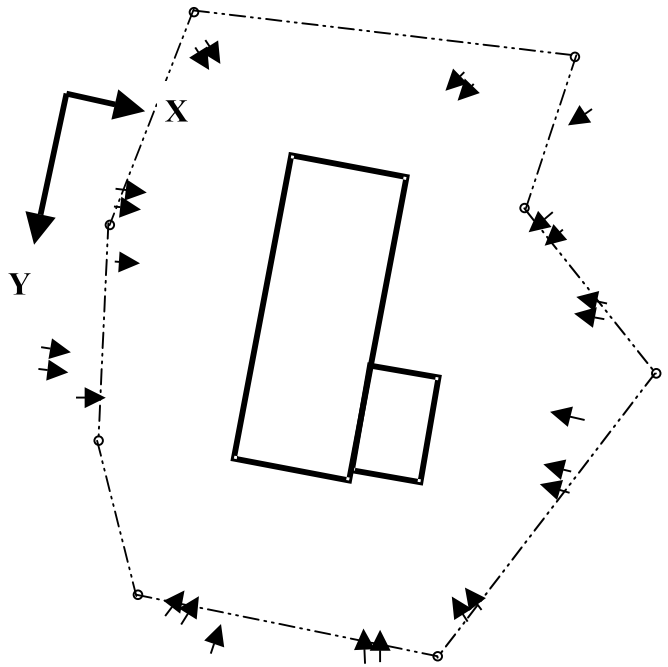
6. Komputerowa inwentaryzacja młyna w Raciborowicach

Przykładem sprawdzenia opisanej powyżej metody inwentaryzacji jest sporządzenie trójwymiarowego wirtualnego modelu starego młyna w Raciborowicach koło Krakowa. Bryła tego drewnianego budynku jest dość prosta, z jedną tylko przybudówką, dwuspadowym dachem, obiekt jest dostępny do fotografowania ze wszystkich stron, jakkolwiek widoczność jest ograniczona ze względu na krzewy i drzewka.

Zdjęcia obiektu wykonane zostały 5-megapikselowym kompaktowym aparatem cyfrowym Kodak DX7590, wyposażonym w zmiennoogniskowy obiektyw, bez możliwości manualnego sterowania ogniskowaniem. Aparat ten wcześniej został przebadany pod względem powtarzalności nastawiania ogniskowania, która dotyczyła nastawienia ogniskowej obiektywu na minimalną wartość „do oporu" i ogniskowania dla programu „landscape". Stwierdzenie satysfakcjonującej powtarzalności (w najgorszym przypadku, kiedy to wyłączy się aparat i powtórnie wprowadzi nastawienia zmiana c_k wyniosła 0,4%) pozwoliło na kalibrację na polu testowym AGH metodą samokalibracji sieci zdjęć.

Na rysunku 2 przedstawiono rozmieszczenie osnowy geodezyjnej oraz stanowisk fotografowania. Konfigurację zdjęć w dużym stopniu determinowało otoczenie obiektu. Najlepszy układ dla sieci stanowią zdjęcia zbieżne. Punkty z takich zdjęć wyznaczane są z naj-

lepszą dokładnością. Z kolei najkorzystniejsze z punktu widzenia jakości obrazów źródłowych do pobrania tekstur są zdjęcia, których płaszczyzna tłowa jest w miarę równoległa do ścian obiektu. Nie ma wtedy konieczności interpolacji jasności zdjęć w celu „rozciągnięcia" tekstury, tak jak w przypadku, gdy zdjęcie wykonane jest pod kątem ostrym do obiektu. Przy wykonywaniu zdjęć starano się uwzględnić wszystkie czynniki. Dlatego wykonano szereg zdjęć o osiach prostopadłych do ścian obiektu, a dodatkowo w celu wzmocnienia sieci także zdjęcia o osiach zbieżnych dla każdej krawędzi pionowej lub ich grup (np. w przypadku przybudówki). Stereogramy wykonano „asekuracyjnie", gdyby pomiar pojedynczych zdjęć uniemożliwiał prawidłową identyfikację punktów homologicznych.



Rys. 2. Szkic stanowisk fotografowania młyna w Raciborowicach

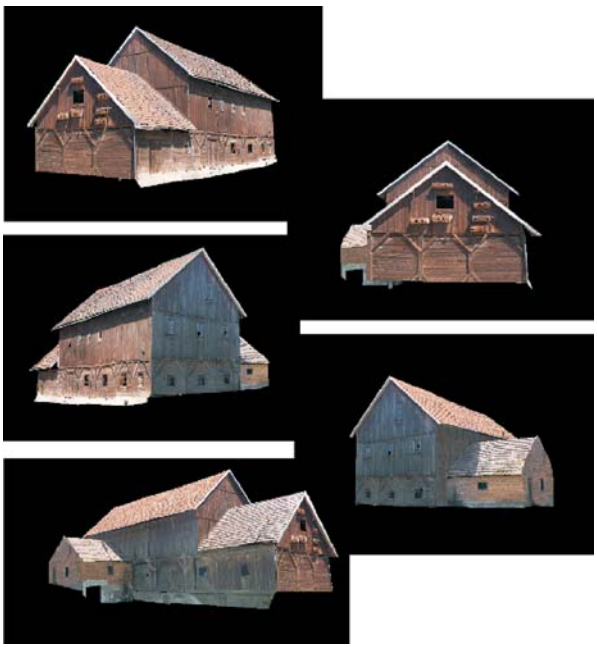
Z punktów osnowy geodezyjnej metodą wcięcia w przód pomierzono szereg fotopunktów: 23 użyto do wyrównania sieci, 36 posłużyło jako punkty kontrolowane do analizy dokładności pomiaru fotogrametrycznego.

Całe opracowanie fotogrametryczne zostało wykonane przy użyciu programu Orpheus (TU Wiedeń). Jest to oprogramowanie wszechstronne – umożliwia pomiar zdjęć, można za jego pomocą wykonywać wiele obliczeń fotogrametrycznych, przeprowadzać wyrównanie sieci zdjęć metodą niezależnej wiązki lub metodą sieci modeli, pozwala również na opracowanie w 3D modeli pokrytych rastrami, z zapisem ich w formacie VRML.

Na wszystkich 25 zdjęciach pomierzono wszystkie fotopunkty oraz punkty na obiekcie, wchodzące w skład modelu szkieletowego. Wykonano orientację wewnętrzną zdjęć, określono drogą kolejnych przybliżeń wszystkie niewiadome, a więc: elementy orientacji zewnętrz-

nej zdjęć i współrzędne wyznaczanych punktów, końcowym etapem było wyrównanie sieci. Dokładność sieci wyznaczona na punktach kontrolowanych wyniosła m_p = ±0,015 m, czyli proponowany pomiar spełnia warunki dokładnościowe dla tego typu obiektów (budynek drewniany, zniszczony) określone Wytycznymi technicznymi [10] (1÷2 cm).

Po wykonaniu modelu krawędziowego zdefiniowano płaszczyzny, które następnie pokryto odpowiednio „przyciętymi" i wyrównanymi tonalnie rastrami fragmentów zdjęć. Wynik (rys. 3) zapisany w formacie VRML można teraz oglądać za pośrednictwem Internetu, wykorzystując dowolną przeglądarkę.



Rys. 3. Trójwymiarowy model młyna wyświetlany w przeglądarce VRML

7. Wnioski

Małopolska jest regionem, w którym spotykamy największe zróżnicowanie architektury drewnianej w Polsce. Wynika to z ukształtowania terenu i jego historii. Popierać należy wszelki próby ocalenia od zapomnienia atmosfery i piękna dawnej polskiej wsi, jak również zwrócenia uwagi na naszą przeszłość i tradycję.

Warto zatem zainteresować się dokładniej problemem fotogrametrycznej inwentaryzacji architektury drewnianej wsi podkrakowskich, takiej, jakiej przykładem jest drewniany młyn w Raciborowicach. Nie musi to być od razu pełne opracowanie, na początek wystarczą prace z zakresu inwentaryzacji biernej przy wykorzystaniu metod wcześniej zaprezentowanych. Prace te stanowić mogą doskonałe podwaliny pod późniejsze opracowania, które być może uchronią takie małe zabytkowe obiekty od zapomnienia.

Proponowana metodyka pomiaru fotogrametrycznego spełnia wymagania dokładnościowe dotyczące inwentaryzacji tego typu obiektów, a równocześnie umożliwia wykonanie prac terenowych na pewno na szerszą skalę niż w przypadku metody z zastosowaniem profesjonalnego fotogrametycznego sprzętu.

Literatura

[1] Boroń A., Tokarczyk R.: *Ocena dokładności rekonstrukcji obiektu z wykorzystaniem aparatu cyfrowego Kodak DC 260*. Półrocznik AGH Geodezja, z. 9, 1999
[2] Boroń A., Tokarczyk R.: *Badanie cyfrowych aparatów fotograficznych dla potrzeb fotogrametrii bliskiego zasięgu*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 10, 2000
[3] Kraus K.: *Photogrammetry, Vol. 2: Advanced Methods and Applications*. 4th edition, Bonn, Dümmler Verlag 1997
[4] Sawicki P.: *Rozwiązanie terratriangulacji łącznie z samokalibracją polową aparatu cyfrowego Kodak DC4800*. Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji, vol. 11, 2000
[5] Sawicki P., Rolka J., Urbański W.: *Stereofotogrametryczna inwentaryzacja obiektu architektonicznego na podstawie niemetrycznych zdjęć cyfrowych średniej rozdzielczości*. Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji, vol. 11, 2000
[6] Stanios I., Tokarczyk R.: *Kalibracja cyfrowego aparatu fotograficznego z wykorzystaniem darmowej wersji programu Aerosys*. Przegląd Geodezyjny, nr 6, 2004
[7] http://aerogeomatics.com/ aerosys/software/
[8] http://graphics.cs.msu.su/en/research/calibration/index.html,
[9] http://www-cgi.cs.cmu.edu/afs/cs.cmu.edu/user/rgw/www/ TsaiCode.html
[10] Wytyczne techniczne G-3.4: *Inwentaryzacja zespołów urbanistycznych, zespołów zieleni i obiektów architektury.* Warszawa, GUGiK 1980