

J. Gołka
J. Haliński

WYKORZYSTANIE MOŻLIWOŚCI FOTOGRAMETRII CYFROWEJ W OPACOWANIACH ARCHITEKTONICZNYCH NA PRZYKŁADZIE ELEWACJI FRONTOWEJ RATUSZA W ZAMOŚCIU

Celem referatu jest przedstawienie technologii cyfrowego opracowania elewacji na zadaną płaszczyznę odniesienia. Uzyskane obrazy wektorowe będą wygenerowane w postaci czarno-białego wydruku o rozdzielczości 600 dpi oraz kolorowego z rozdzielczością 300 dpi. Dokładność opracowania nie przekracza dokładności graficznej - 0.3 mm w skali opracowania.

1. Krótka charakterystyka Ratusza w Zamościu

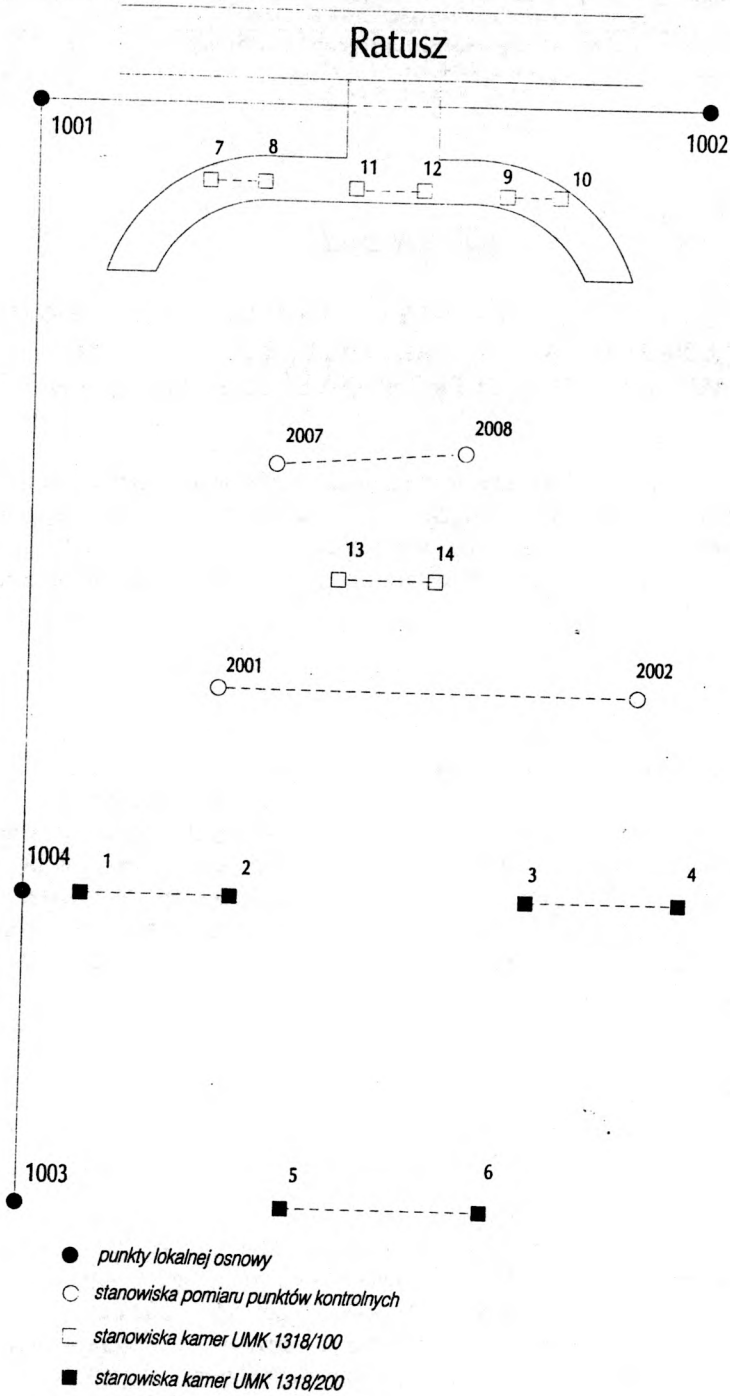
Zamość został założony w XVI wieku przez hetmana Jana Zamoyskiego. Ratusz jak i całe miasto zostało zaprojektowane przez włoskiego architekta Bernarda Morando.

Zamojski Rynek Wielki jest jednym z najwspanialszych XVI-wiecznych placów Europy. Przywodzi na myśl place włoskie, zwłaszcza z rejonu weneckiego. Na płycie rynku o wymiarach ok. 100 na 100 metrów w północnej części usytuowany jest Ratusz, z którego wyrasta wieża nie mająca wielu równych sobie w Polsce. Tę efektowną budowlę poprzedzają monumentalne schody. W 1992 roku Zamość został wpisany na listę Dziedzictwa Naturalnego i Kulturalnego (UNESCO).

2. Prace terenowe

2.1 Terenowe prace geodezyjne

Terenowe prace rozpoczęto od założenia lokalnej osnowy w kształcie prostokąta o bokach 51 na 84 metry. Osnowę tak zorientowano aby krótszy bok był równoległy do frontowej elewacji obiektu. Następnie wyznaczono i zamierzono stanowiska bazowe dla kamer fotogrametrycznych (rys. 1). Dla potrzeb późniejszych obliczeń fotogrametrycznych zamierzono na obiekcie metodą przestrzennego wcięcia w przód szereg równomiernie rozmieszczonych fotopunktów. Dla miejsc łatwo dostępnych stosowano naklejane fotopunkty w kształcie krzyża maltańskiego. W miejscach niedostępnych wykorzystano charakterystyczne i jednoznacznie identyfikowalne fragmenty elewacji. Wszystkie pomiary geodezyjne wykonano za pomocą tachimetru elektronicznego Elta 50R firmy Zeiss.



Fys. 1 Szkic rozmieszczenia punktów osnowy, kontrolnych i stanowisk bazowych

2.2 Terenowe prace fotogrametryczne

Bazy fotogrametryczne zostały tak usytuowane, aby wykonane z nich stereogramy miały jak największą skalę a zarazem obejmowały jak największą część elewacji (rys. 1). Ze względu na duże rozmiary obiektu ok. 32 metry szerokości i 55 metrów wysokości wykorzystano dwa rodzaje kamer fotogrametrycznych. Do wykonania stereogramów z małej i średniej odległości wykorzystano kamerę UMK 1318/100 o ogniskowej 100 mm. Uzyskane w ten sposób fotogramy miały skalę 1: 150 i 1: 450 dla baz 7-8, 9-10, 11-12 i 13-14. Jednak nie pozwoliły one na pokrycie całej wieży Ratusza. Do uchwycenia wieży wykorzystano kamerę UMK 1318/200 o ogniskowej 200 mm. Wykorzystanie tej kamery pozwoliło na uchwycenie całej wieży Ratusza w skali 1 : 500. Również do uchwycenia elewacji schodów w dużej skali - 1:350 zastosowano kamerę UMK 1318/200 wykonując fotogramy z bazy 1-2 i 3-4. Długości baz fotogrametrycznych zawierają się w proporcji od 1 : 6 do 1: 8 w stosunku do odległości od obiektu. Zdjęcia wykonano jako normalne poziome jak również normalne nachylone pod kątem 15° dla kamery UMK 1318/200. Do pracy wykorzystano klisze ortochromatyczne ORWO T01. Dla wykonywanych fotogramów stosowano przysłonę 16 a czas naświetlania wahał się w granicach od 4 do 60 sekund. W celu kontroli jakości wykonanych zdjęć wszystkie fotogramy podlegały procesowi wywołania w terenowej ciemni.

3. Prace kameralne

3.1 Obliczenie osnowy fotogrametrycznej XYZ, punktów kontrolnych, środków rzutów

Celem wstępnych prac kameralnych było obliczenie i wyrównanie poziomej osnowy lokalnej wraz z stanowiskami baz programem GEONET. Średni błąd położenia punktu m_p po wyrównaniu wyniósł + 2 mm. Następnie na podstawie wyrównanej osnowy dokonano obliczeń wszystkich punktów kontrolnych metodą wcięcia przestrzennego za pomocą programu C-GEO. Średni błąd położenia wysokościowego punktów kontrolnych po obliczeniach m_H nie przekraczał ± 7 mm. Tak wyliczone współrzędne posłużyły jako dane wejściowe do orientacji stereogramów.

3.2. Przygotowanie zdjęć cyfrowych

Wywołane negatywowe klisze poddano procesowi skanowania. Przetwarzania fotogramów na postać cyfrową dokonano na płaskim skanerze Photoscan firmy Intergraph z rozdzielczością 1200 i 2000 dpi. Rozdzielczość 2000 dpi zastosowano dla fotogramów wykonanych w skali mniejszej od 1 : 250. Dla poprawy jakości stereogramów zastosowano technikę korekcji radiometrycznych dla poszczególnych obrazów. Korekcje w zakresie jasności jak i kontrastu przeprowadzono w programie PHOTOSHOP. Tak przygotowane obrazy graficzne przekształcono do formatu TIFF, który następnie zapisano na płycie CD.

3.3 Orientacja zdjęć cyfrowych

Cyfrowe stereogramy poddano procesowi strojenia na analitycznym autografie cyfrowym - VSD. Pierwszym etapem orientacji wewnętrznej było wyznaczenie układu

współrzędnych kliszy. Pomiaru współrzędnych znaczków tłowych dokonano na stereokomparatorze STECOMETER, które następnie zostały wprowadzone do obliczeń orientacji wewnętrznej. Średni błąd położenia punktu po orientacji wewnętrznej Helmerta wyniósł ok. 10 μm dla wszystkich stereogramów. Kolejnym etapem strojenia było przeprowadzenie orientacji wzajemnej. Orientację wzajemną przeprowadzono z uwzględnieniem wszystkich punktów homologicznych. Jednak stosując metodę kolejnych iteracji eliminowano pary punktów obciążonych największymi błędami. Ostatecznie osiągnięto przeciętną wielkość paralaksy szczytkowej poprzecznej w układzie obrazu dla poszczególnych modeli na poziomie 0.30 piksela. Ostatnim etapem procedury orientacji było przeprowadzenie transformacji przestrzennej z układu modelu do układu odniesienia.

Ze względu na dużą głęboką pomiędzy schodami głównymi a elewacją frontową stosowano niezależną orientację tego samego modelu. Przeprowadzenie osobnej orientacji w płaszczyźnie schodów jak i w płaszczyźnie głównej elewacji pozwoliło na bardzo korzystne rozłożenie błędów średnich współrzędnych w układzie modelu jak i w układzie współrzędnych geodezyjnych. Średni błąd położenia punktu po uruchomieniu trybu autogrametrycznego nie przekraczał 0.02 m dla układu odniesienia.

3.4 Przygotowanie do wektoryzacji elewacji Ratusza

Zestrojone modele poddano procesowi wektoryzacji. Dla ułatwienia pracy obiekt podzielono na trzy główne elementy: schody, elewację ściany frontowej i wieżę. Przy wektoryzacji każdego z tych elementów wykorzystywano różne bazy fotogrametryczne zawierające odpowiednie stereogramy. Dla zapewnienia jak największej dokładności wektoryzacji elewacji schodów przeprowadzono z baz 4-5 i 8-9. Takie rozmieszczenie baz pozwoliło na całkowite pokrycie schodów w dużej skali. Wektoryzację ściany frontowej przeprowadzono wykorzystując bazy 1-2, 3-4, 7-8, 9-10, 11-12. Natomiast wektoryzacji wieży dokonano z bazy 5-6. Dla zapewnienia jednolitości pomiędzy głównymi elementami Ratusza wprowadzono umowny podział elementów elewacji na poszczególne warstwy o różnicowanych kolorach. Zastosowano następujący podział warstw: 1 - obrys, 2 - detale, 3 - stolarka, 4 - blachy, 5 -szczegóły, 6-pęknięcia, 7- inne. Dla takiego podziału przeprowadzono wektoryzację elewacji Ratusza.

3.5 Wektoryzacja obiektu

Opracowanie głównych elementów Ratusza prowadzono w kolejności od ogółu do szczegółu. Pierwszym etapem wektoryzacji było opracowanie zewnętrznego obrysu obiektu, który zagęszczano w miarę opracowania. W następnej kolejności przeprowadzono wektoryzację elementów okiennych i drzwiowych. W ostatniej fazie rozpracowywano główne zarysy detali architektonicznych w postaci attyki, portalu i gzymsów. Elementów drobnych i powtarzalnych jak zdobienia na gzymsach i poręczach schodów nie wektoryzowano tylko zaznaczano ich miejsca wstawienia na elewacji. Tak przygotowane miejsca wraz z matrycami pojedynczych detali opracowano w późniejszym etapie pracy w programie MICROSTATION. Również dla elementów sztukatorskich występujących w portalach jak i kartuszach stosowano odmienną technikę opracowania. Wektoryzację obiektu prowadzono z wykorzystaniem różnych stereogramów zawierających poszczególne części Ratusza. Ze względu na brak możliwości korzystania w VSD z różnych rodzajów grubości linii,

a także z wszelkich krzywych, występujące łuki zastępowano liniami łamanymi - poliliniami. W ostatniej fazie pracy w programie VSD sklejono wszystkie wektorowe pliki z poszczególnych stereogramów w jedną całość, którą zapisano w postaci pojedynczego pliku graficznego o formacie DXF. Tak sformatowany plik poddano dalszej obróbce graficznej w programie MICROSTATION.

3.5.1 Opracowanie elementów powtarzalnych

Wszelkie elementy powtarzalne opracowano w MICROSTATION. W przygotowanych miejscach wstawień elementów wklejano wcześniej zwektoryzowany pojedynczy szczegół. Ze względu na niedokładności wykonania elewacji każdy wklejony szczegół został odpowiednio przeskalowany, a następnie wpasowany w miejsce wstawienia. W taki sposób opracowano zdobienia na gzymsach jak i na poręczach schodów. Dzięki takiemu podejściu został znacznie skrócony czas opracowania z zachowaniem jego dokładności.

3.5.2 Opracowanie elementów sztukaterii

Równocześnie z wektoryzacją elewacji Ratusza w VSD prowadzono wektoryzację rozbudowanych elementów sztukatorskich w programie I/RAS C będącego aplikacją MICROSTATION. Z pojedynczych fotogramów wycinano w programie PHOTOSHOP elementy sztukaterii, które następnie poddawano przetwarzaniu cyfrowemu - resampling. (Resampling - polega na przenoszeniu wartości danych z jednego układu siatki do drugiego z wykorzystaniem interpolacji bilionowej, wielomianowej lub najbliższego sąsiada). Przetwarzania z układu obrazu - pikselowego do układu odniesienia dokonywano przeciętnie na 5-6 odpowiadających sobie punktów. Punkty w układzie pikselowym pobierano bezpośrednio z obrazu w programie I/RAS C natomiast odpowiadające punkty w układzie odniesienia pozyskiwano z VSD. Jako punkty dostosowania wykorzystywano charakterystyczne, jednoznacznie identyfikowalne elementy architektoniczne. Tak przygotowane dane przetwarzano metodą biliniową na nowe obrazy cyfrowe. Błąd przetwarzania poszczególnych obrazów nie przekraczał poziomu 4 milimetrów. Nowouzyskane obrazy w układzie odniesienia wektoryzowano w programie I/RAS C wykorzystując wszystkie dostępne procedury MICROSTATION.

Zwektoryzowane pojedyncze detale przedstawiają rys. 2, 3, 4.

3.6 Obróbka graficzna obrazu wektorowego

Kolejnym krokiem opracowania było przeprowadzenie obróbki graficznej uzyskanych plików wektorowych. Wygenerowany plik DXF z programu VSD wczytano do MICROSTATION, a następnie przekonwertowano do formatu DGN. Trójwymiarowy - 3D obraz Ratusza zrzutowano na pionową płaszczyznę odniesienia - 2D w celu łatwiejszej korekty uzyskanych danych. Dla tak przygotowanego pliku przeprowadzono sprawdzanie topologii wszystkich linii wektorowych. W pierwszej kolejności zastępowano polilinie odpowiednimi krzywymi, wpasowując je w punkty załamań zwektoryzowanych detali.

Następnie sprawdzano dokładności połączeń kolejnych linii. Sprawdzano również równoległość i prostokątność występujących elementów oraz ich przyporządkowanie do odpowiednich warstw. Tam gdzie występowały jakiegokolwiek zniekształcenia

spowodowane niedokładnością wektoryzacji lub małą czytelnością danego fragmentu obrazu wprowadzano wszelkie korekty geometryczne. Do tak zredagowanego obrazu wklejono wcześniej przygotowane elementy powtarzalnych zdobień oraz elementy uzyskane z wektoryzacji po resamplingu. Uzyskano w ten sposób obraz całego Ratusza w skali 1:1. W celu uzyskania efektu plastyczności obiektu na wyplocie wprowadzono zróżnicowanie grubości linii. Dla głównych obrysów elewacji wprowadzono linię o największej grubości, dla portalu, attyki i gzymsów zastosowano linię o średniej grubości pozostałe drobne elementy sztukatorskie otrzymały najmniejszą grubość.

3.6.1 Nadanie koloru powierzchniom Ratusza

Przygotowany plik wektorowy poddano kolorowaniu (ang. fill) powierzchni pomiędzy liniami. Operację wypełniania powierzchni przeprowadzono w MICROSTATION. Kolorowanie przeprowadzono dla wszystkich elementów Ratusza nadając im kolor najbardziej zbliżony do oryginalnego. Próbkę kolorów pobierano z kolorowych zdjęć wykonanych w czasie sesji zdjęciowej w Zamościu.

3.7 Wydruk uzyskanych obrazów wektorowych

Przygotowanym plikiem wektorowym nadano skalę 1 : 50 oraz nałożono siatkę geometryczną w celu łatwiejszych pomiarów na wyplocie. Tak przygotowane obrazy wypłotowano na kolorowym ploterze HP 350. Wydrukowano następujące wersje Ratusza:

- czarno-białą bez wypełnień z głównymi schodami oraz bez schodów na folii transparentnej oraz na papierze glosy
- kolorową z wypełnionymi powierzchniami elewacji w takim samym układzie jak dla wersji czarno-białej

Elewację frontową bez schodów przedstawia rys. 5, natomiast elewację wraz z schodami zawiera rys. 6. Zwektoryzowane schody przedstawia rys. 7.

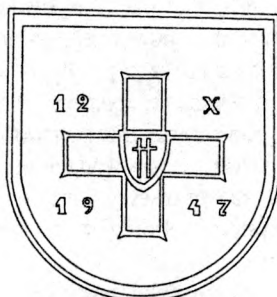
4. Końcowe wnioski

Opracowanie rzutu elewacji frontowej w przedstawionej technologii jest jednym z pierwszych opracowań cyfrowych dla tak dużego obiektu architektonicznego na terenie kraju. Dotychczasowe opracowania architektoniczne przeprowadzono metodami tradycyjnymi - analogowymi, które wymagały wiele pracy, czasu i inwentaryzowany obiekt nie mógł być wielokrotnie prezentowany w różnych formach bez ponownego jego opracowania. Podstawową zaletą tej metody jest fakt, że otrzymany wynik w formie cyfrowej można wielokrotnie zmieniać i dowolnie przetwarzać w zależności od potrzeb i wymagań zleceniodawcy.

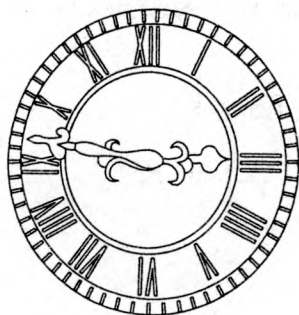
Kolejną zaletą opracowania z wykorzystaniem autografu cyfrowego jest możliwość równoczesnej pracy na wielu stereogramach bez ich każdorazowego strojenia. Raz zestrojone obrazy można wielokrotnie opracowywać dla różnych potrzeb zamawiającego. Otrzymane wyniki występują w postaci trójwymiarowych plików wektorowych, które następnie są opracowywane w programach typu CAD. Współpraca z aplikacjami CAD daje możliwość obróbki surowych obrazów wektorowych jako obiektów trójwymiarowych, rzutowania na dowolne płaszczyzny lub wykonywania zadanych przekroi. Również można pozyskiwać



Rys. 2 Zwektoryzowany detal portalu



Rys. 3 Zwektoryzowany kartusz przy wejściu głównym



Rys. 4 Zwektoryzowany zegar na wieży Ratusza

informacje w zakresie wielkości powierzchni, objętości lub długości opracowywanych obiektów.

Również bardzo istotną zaletą tego opracowania jest duża dokładność uzyskanych wyników, gdzie średni błąd położenia punktu na elewacji nie przekracza ok. 2cm w skali obiektu. Różnice w położeniu jednoimiennych wektorów opracowanych z dwóch stereogramów nie przekraczały 1,5 cm. Stopień szczegółowości przeprowadzonej wektoryzacji pozwala na uzyskanie znacznie większych skal opracowania. Bez straty na dokładności można cały obiekt, lub jego część wydrukować w skali 1:20 lub 1: 10. Zwektoryzowane detale architektoniczne z powodzeniem można przedstawić w skali 1:5 uzyskując w ten sposób szczegółową inwentaryzację danego szczegółu.

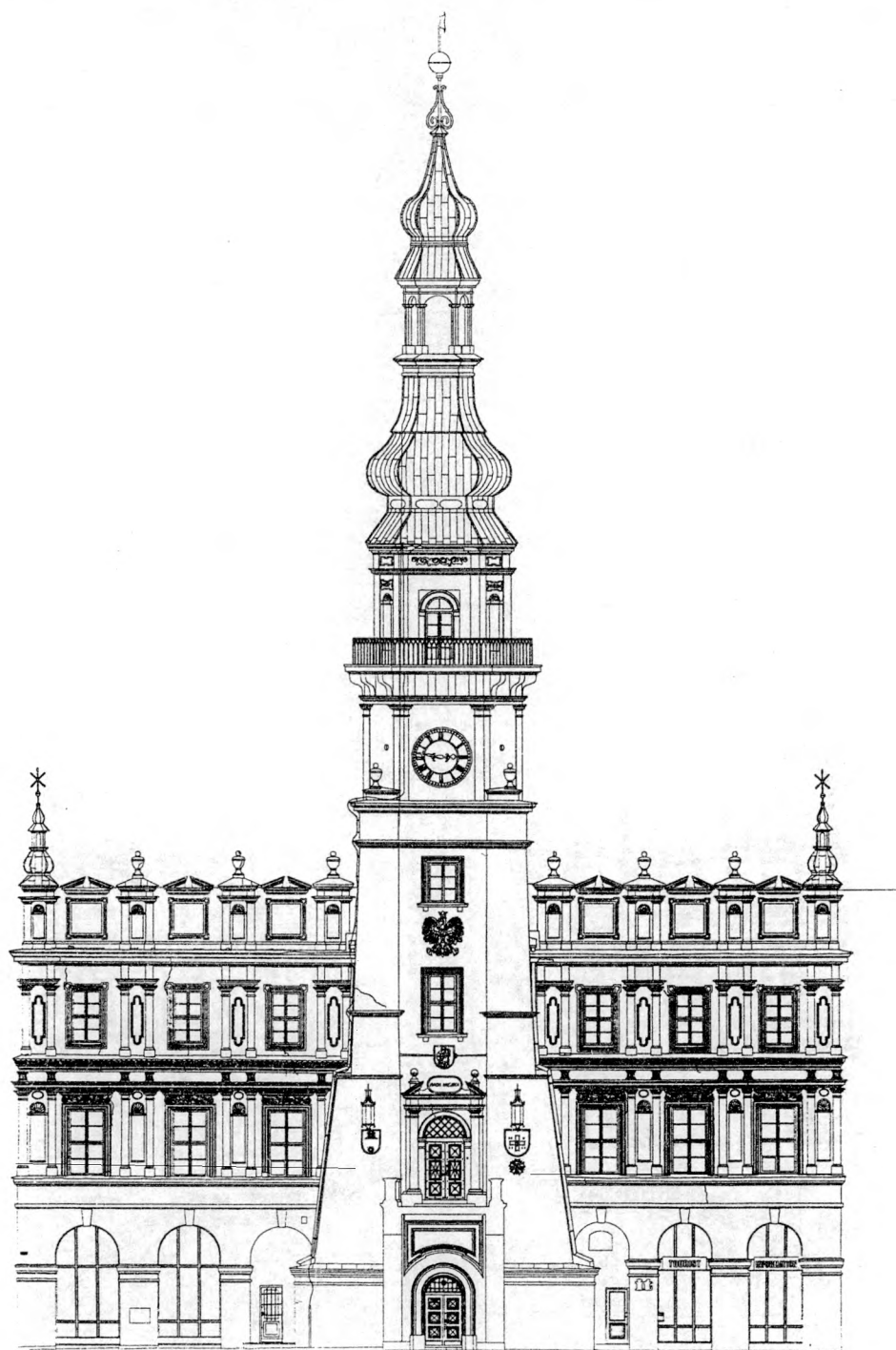
Opracowanie wykonano korzystając z pakietu VSD AGH. Należy podkreślić wysoki poziom merytoryczny oprogramowania oraz łatwość obsługi w/w pakietu, dzięki czemu wykonawca nie miał kłopotów z prowadzeniem obliczeń oraz wektoryzacji, mimo, że posługiwał się nim po raz pierwszy. Na podkreślenie zasługuje również duża stabilność i niezawodność systemu. Pracując na stereogramach wielkości ponad 200 MB program działał bez zarzutu.

Mając na uwadze szerokie możliwości pozyskania i wykorzystania otrzymanych danych wektorowych jak i rastrowych, sposoby ich prezentacji oraz dalszego wykorzystania, jakoś opracowania końcowego należy stwierdzić, że prezentowana metoda znacznie przewyższa opracowania tradycyjne i jest konkurencyjną w stosunku do nich jeżeli chodzi o koszty.

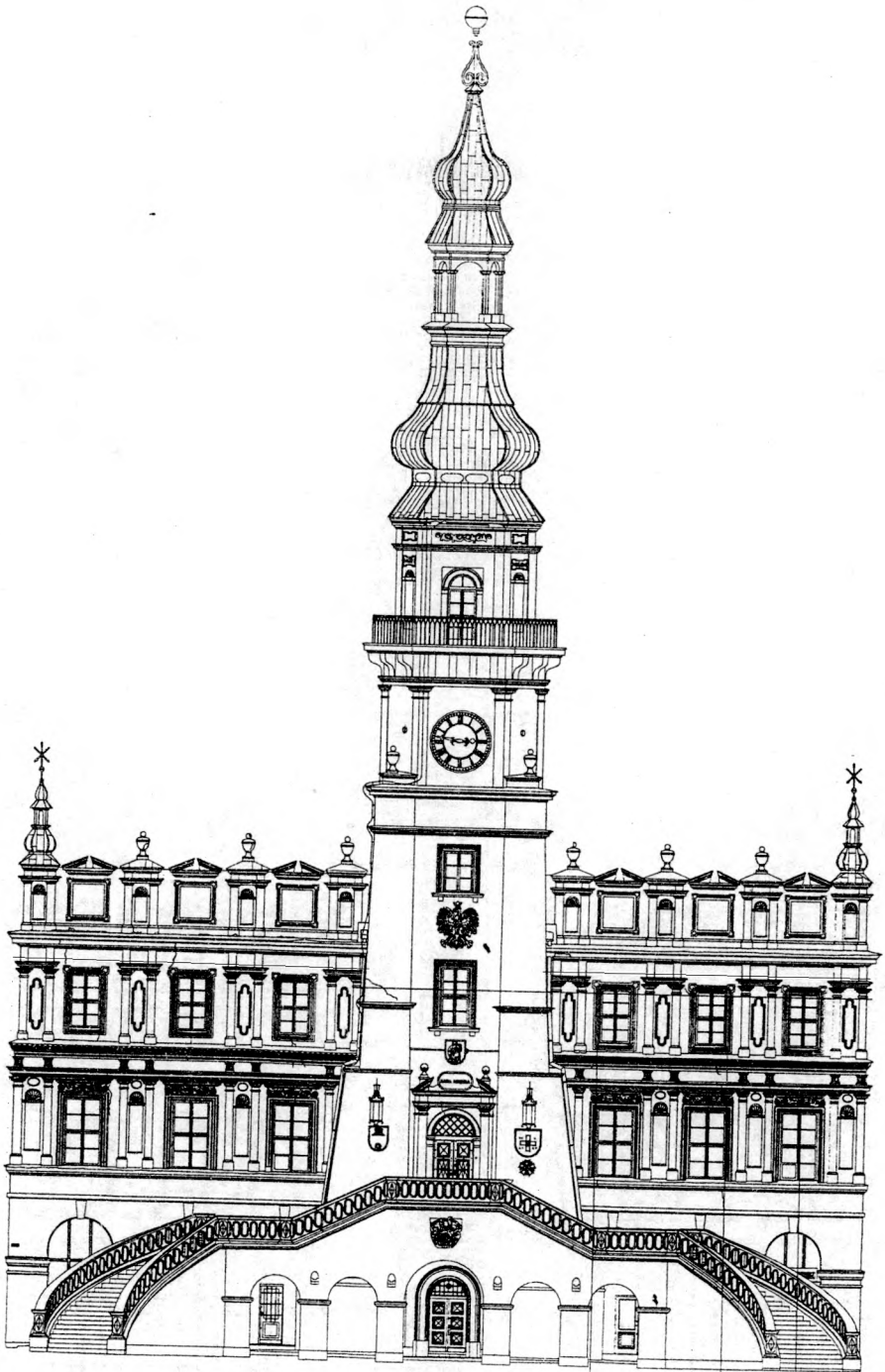
Podsumowując końcowe wnioski należy stwierdzić, że cyfrowe opracowanie fotogrametryczne inwentaryzacji wspomagane techniką CAD jest rozwiązaniem przyszłościowym dla potrzeb architektury i konserwacji zabytków.

W najbliższym czasie, celem tego opracowania jest jego spopularyzowanie wśród fachowców odpowiedzialnych za stan architektury zabytkowej w Polsce i przekonanie ich o wyższości i doskonałości tej metody nad dotychczas stosowanymi.

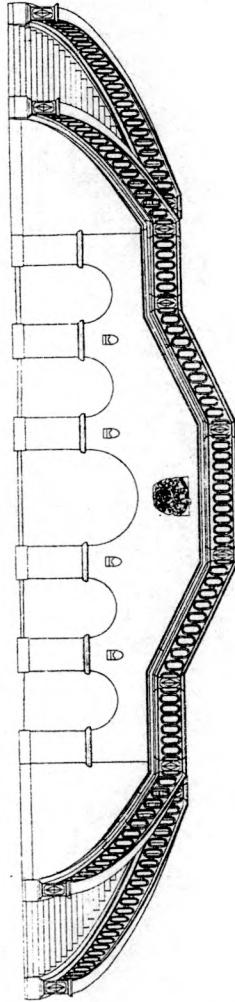
Recenzował: prof. dr hab. inż. Jerzy Bernasik



Rys 5. Elewacja frontowa Ratusza w Zamościu



Rys. 6 Zwektoryzowana elewacja frontowa Ratusza wraz ze schodami



Rys. 7 Elewacja głównych schodów