

**Adam Boroń,  
Marta Borowiec,  
Andrzej Wróbel**

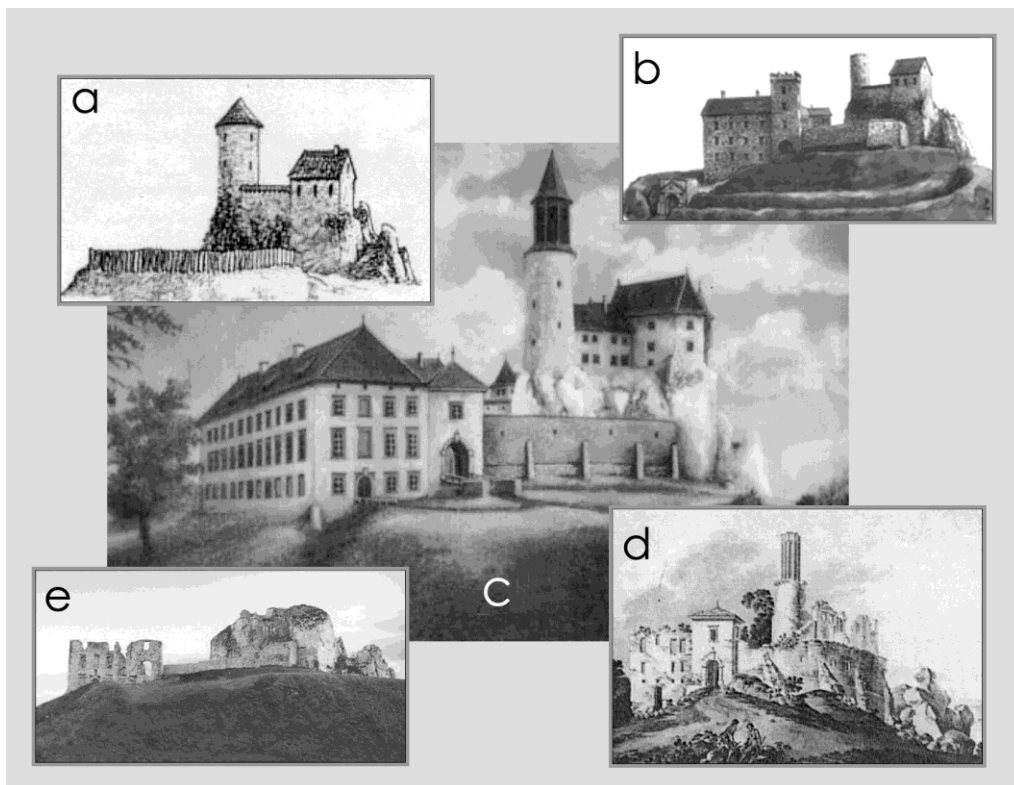
## **KOMPLEKSOWA, CYFROWA DOKUMENTACJA FOTOGRAMETRYCZNA WZGÓRZA ZAMKOWEGO W RABSZTYNIE K. OLKUSZA.**

*Streszczenie.* W referacie omówiono technologię fotogrametrycznej inwentaryzacji wzgórza zamkowego w Rabsztynie zastosowaną dla pozyskania dokładnej, kompleksowej dokumentacji zarówno topografii jak i architektury wzgórza. Dla potrzeb mapy sytuacyjno-wysokościowej i NMT wykonano zdjęcia lotnicze w skali 1:2000 o pokryciu podłużnym 80%. W wyniku ich opracowania, w lokalnym układzie współrzędnych, powstał numeryczny model terenu oraz cyfrowa mapa sytuacyjno-wysokościowa wzgórza i ruin zamku w skali 1:200. W trudnodostępnych obszarach pomiar fotogrametryczny uzupełniono pomiarem bezpośrednim. Osobnym zadaniem była cyfrowa inwentaryzacja architektoniczna pozostałości zamków, wykonana z dokładnością odpowiadającą dokumentacji w skali 1:50. Wszystkie elewacje przedstawiono w postaci fotoplanów cyfrowych o rozdzielczości terenu 2.0 mm/piksel. Zdjęcia fotogrametryczne wykonano z wykorzystaniem dwóch kamer pomiarowych: szerokokątnej UMK 10/1318 i normalnokątnej UMK 20/1318. Jako materiał negatywowy wykorzystano panchromatyczne błony cięte TMAX 100 Professional firmy KODAK. Ze względu na ukształtowanie terenu niektóre stereogramy wykonano z 25 metrowego podnośnika hydraulicznego. Część zdjęć wykonano z wykorzystaniem kamery cyfrowej KODAK DCS PROFESSIONAL o 6 milionowej matrycy CCD. Dokumentację uzupełniły 5 rzutów i 2 przekroje zamku.

### **1. Wstęp**

Średniowieczne zamki warowne lokowane były w trudnodostępnych, szczytowych rejonach wzgórz. Często wtopione były w naturalne skały tworząc tzw. „orle gniazda”. Zazwyczaj otaczała je fosa, oraz inne budowle inżynierskie służące obronie. Kompleks ruin zamku w Rabsztynie k. Olkusza jest przykładem takiego zespołu urbanistycznego, gdzie topografia wzgórza i skał jest nierozzerwalnie związana z architekturą zamku.

Początki zamku w Rabsztynie sięgają XIII lub XIV w. Wygląd tej warowni średniowiecznej wybudowanej na skale wapiennej obrazuje rys.1a. W dalszym etapie rozbudowy powstał w tym miejscu zamek gotycki (rys 1b). Na początku XVII w. do gotyckich murów dobudowany zostaje pałac renesansowy. Całość obiektu złożona z zamku górnego (warownia) zamku średniego (zamek gotycki) i renesansowego pałacu (zamek dolny) obrazuje rys 1c. Wszystkie rysunki a, b, c są rekonstrukcjami obiektu. Najstarszym dokumentem przybliżającym rzeczywisty wygląd zamku jest akwarela Z. Vogla z 1792 (rys 1d). Już na tej akwarceli zamek jest częściową ruiną. Od tego czasu do chwili obecnej nie był on odbudowywany. Aktualny stan ruin zamku od strony północnej obrazuje zdjęcie (rys 1 e).



Rys 1. Zamek w Rabszynie widok od strony północnej

- a. warownia na skale (zamek górny) - rekonstrukcja
- b. zamek gotycki (zamek średni) – rekonstrukcja
- c. zespół zamkowy z pałacem renesansowym (zamek dolny) – rekonstrukcja
- d. stan zachowania zamku w 1792 r – akwarela Z. Vogla
- e. stan zachowania zamku w 2003 r

W chwili obecnej trwają prace archeologiczne oraz zabezpieczające obiekt przed dalszą degradacją i dostępem do niego osób postronnych. Dla potrzeb prowadzonych badań archeologiczno-architektoniczno-historycznych, w tym projektowania i inwentaryzacji stanowisk archeologicznych, projektów zabezpieczania i rekonstrukcji architektury obiektu, historycznych analiz porównawczych itp. niezbędna okazała się kompleksowa dokumentacja stanu zachowania obiektu. W wyniku analizy potrzeb zdecydowano zinwentaryzować zarówno topografię wraz z sytuacją wzgórza zamkowego jak i architekturę wszystkich pozostałości zamku, często o charakterze reliktowym. Wykonana dokumentacja z założenia miała być dokumentacją bazową, permanentnie uzupełnianą o nowe fragmenty odsłaniane w wyniku prac archeologicznych. Dokładność i szczegółowość opracowania miała być zoptymalizowana, tzn. powinna spełniać postawione przed nią zadania przy możliwie niewysokich kosztach wytworzenia. Założona i zastabilizowana trwale osnowa geodezyjna służyć ma w przyszłości do aktualizacji dokumentacji bazowej oraz inwentaryzacji wszystkich odkrywek archeologicznych i znalezisk w jednym wspólnym układzie.

Zaproponowaliśmy następujące założenia dla realizacji tego zadania:

- Opracowanie rzeźby terenu i sytuacji z wykorzystaniem wielkoskalowych zdjęć lotniczych. Dokładność położenia punktu na mapie sytuacyjnej  $m_p = \pm 3\text{cm}$ , a dokładność wysokościowa NMT  $m_z = \pm 5\text{cm}$
- Opracowanie dokumentacji architektonicznej w postaci fotoplanów cyfrowych, rzutów i przekrojów z wykorzystaniem zdjęć naziemnych. Przyjęto dokładność opracowania odpowiadającą skali 1: 50, tzn.  $m_p < \pm 15\text{mm}$ . Założono 2 mm piksel terenowy fotoplanów umożliwiający realizację pełnowartościowych informacyjnie wydruków fotoplanów nawet w skali 1:10 (125 dpi).

## 2. Fotogrametryczna inwentaryzacja wzgórza zamkowego

### *Koncepcja opracowania i wykonanie zdjęć*

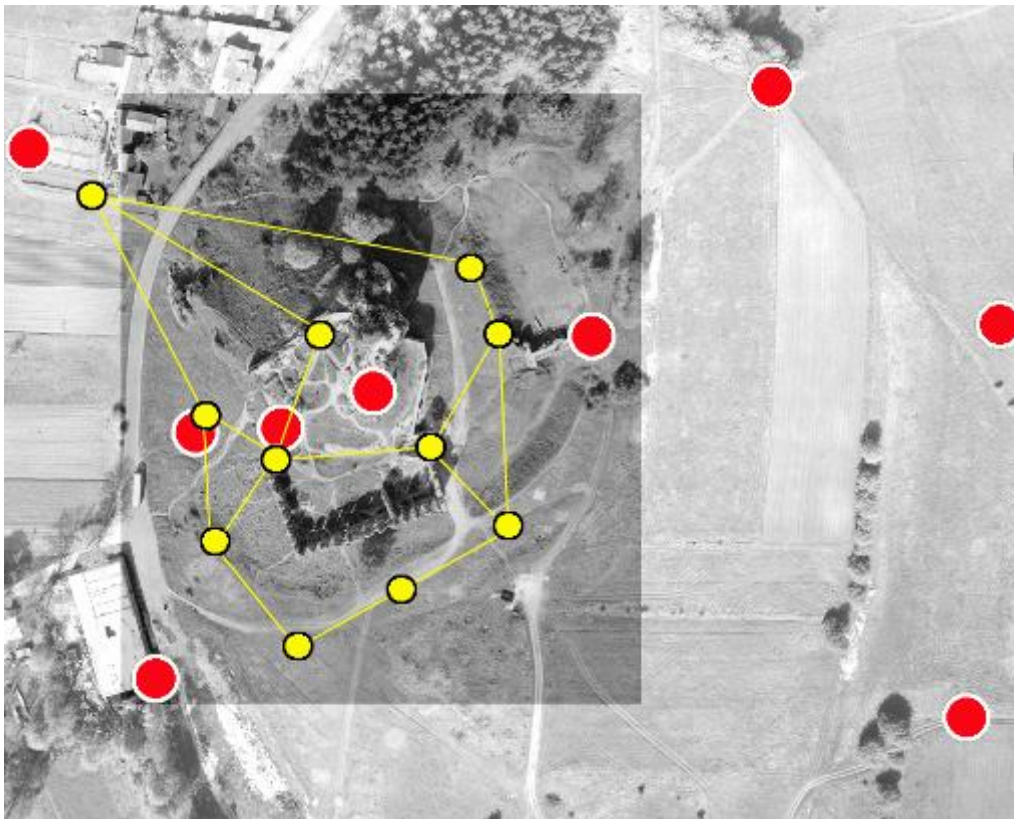
Inwentaryzacja obiektu topograficznego jakim jest wzgórze z pozostałościami zamków i wyrastającymi spod powierzchni terenu skałami wapiennymi jest na pierwszy rzut oka typowo geodezyjnym - problemem wykonania mapy sytuacyjno-wysokościowej. Jednak w tym przypadku głównym celem był numeryczny model rzeźby terenu dla archeologicznych analiz przestrzennych. Uzupełnienie NMT pomiarem wybranych elementów sytuacji wzgórza pozwoliło skompilować mapę sytuacyjno-wysokościową, jako podkład do wszystkich prac projektowych.

Dla uzyskania wysokiej, jednorodnej dokładności danych sytuacyjno-wysokościowych zaproponowaliśmy wykonanie opracowania na podstawie stereogramu zdjęć lotniczych w jak największej skali. Początkowo brano pod uwagę wykonanie stereogramu z balonu na uwięzi kamerą UMK10/1318. Dla odfotografowania terenu opracowania (3.4 ha) na jednym stereogramie należałoby wykonać zdjęcia w skali 1:2000 z wysokości 200 m nad terenem. Ostatecznie zdjęcia wykonane zostały jednak kamerą szeregową LMK<sub>2</sub> z wysokości 300 m. nad ~~terenem~~ terenem, również w skali 1:2000. Pomimo tego, że ~~w tym przypadku~~ skala zdjęć teoretycznie mogła być większa (1:1200) to wymogi bezpieczeństwa i ograniczenie zakresu urządzenia do kompensacji rozmazu FMC w kamerze uniemożliwiły lot na niższej wysokości. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że zdjęcia zostały wykonane nieodpłatnie, ~~jako zdjęcia testowe,~~ przez Przedsiębiorstwo Fotolotnicze Geokart-MGGP z Tarnowa. Zdjęcia o pokryciu podłużnym 80% wykonano na materiale panchromatycznym z wykorzystaniem stożka szerokokątnego. Zwiększone pokrycie podłużne umożliwiło w trakcie opracowania zmniejszenie martwych pól w kierunku osi lotu, a tym samym ograniczyło zakres bezpośrednich pomiarów uzupełniających. Do opracowania wybrano 5 kolejnych zdjęć, które zeskanowano na profesjonalnym skanerze fotogrametrycznym PHOTOSCAN TD z rozdzielczością 14 $\mu\text{m}$  (fragmenty z rozdzielczością 7 $\mu\text{m}$ ). Zwiększenie rozdzielczości skanowania umożliwiło w procesie opracowania podwyższenie dokładności pomiarów autogrametrycznych w rejonie ruin zamku.

Skala zdjęć 1:2000 zapewnia dokładność opracowania. Ze wstępnej analizy dokładności opracowania wykonanych zdjęć wynika, że  $m_p = \pm 3\text{cm}$ , a  $m_z = \pm 4\text{cm}$ , co odpowiada dokładności opracowań architektonicznych w - Dokładność ta odpowiada graficznej dokładności mapy w skali 1:100.

### Prace terenowe

W pierwszym rzędzie zaprojektowano osnowę geodezyjną dla stworzenia warunków do geodezyjnych pomiarów uzupełniających oraz pomiaru fotopunktów. Założona osnowa podstawowa liczyła 11 punktów rozmieszczonych zarówno na zewnątrz zamku (8 punktów) jak i wewnątrz (3 punkty) – Rys.2. Wszystkie punkty ~~zastabilizowane~~ zostały trwale zastabilizowane w terenie, aby umożliwić w przyszłości oparcie na nich nowych pomiarów aktualizacyjnych. W wyniku wyrównania sieci kątowno-liniowej oraz sieci niwelacji trygonometrycznej uzyskano dokładność określenia położenia sytuacyjnego punktów osnowy:  $m_p = \pm 8\text{mm}$ , i wysokości:  $m_z = \pm 5\text{mm}$ . Obliczenia wykonano w lokalnym układzie, który przyjęto jako równoległy do układu mapy zasadniczej Olkusza.



**Rys.2.** Zakres opracowania NMT i mapy sytuacyjno-wysokościowej (ciemniejszy ton). Kółkami zaznaczono położenie punktów osnowy fotogrametrycznej (duże kółka) i geodezyjnej (małe kółka).

Fotopunkty naturalne dla strojenia stereogramów zdjęć lotniczych starano wybrać w taki sposób aby zapewnić jak najwyższą jednoznaczność ich identyfikacji na zdjęciach. Ogółem wybrano i pomierzono 9 fotopunktów (rys 2). Dokładność wyznaczenia położenia fotopunktów szacowana jest na  $\pm 15\text{mm}$ .

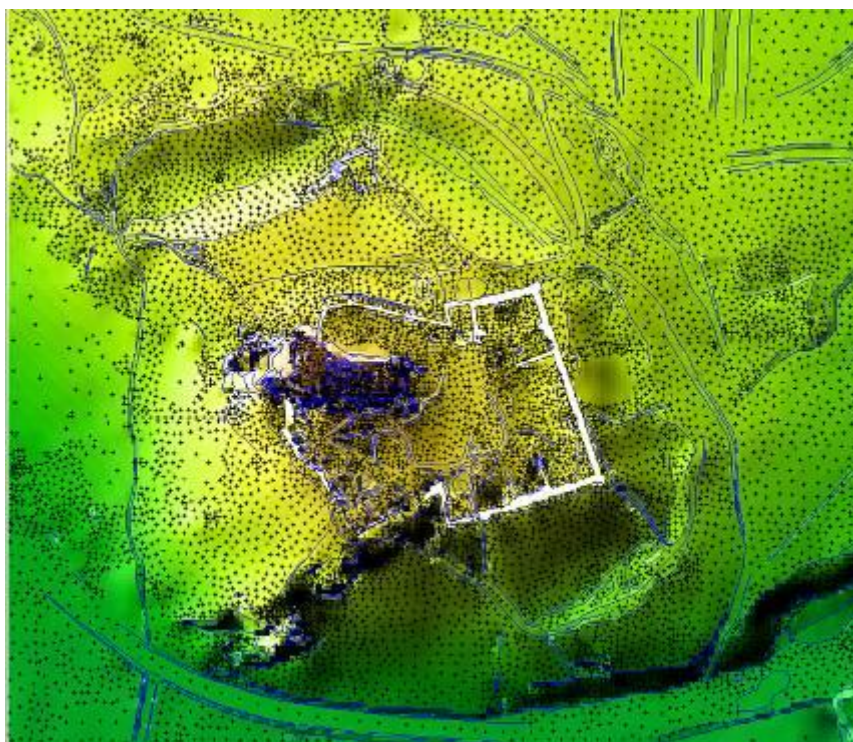
W miejscach gdzie pomiar na zdjęciach był niemożliwy (martwe pola, roślinność) wykonano geodezyjny pomiar uzupełniający. Dotyczył on zarówno NMT jak i

szczegółów sytuacyjnych. Domierzono w ten sposób ok. 200 pikiet z punktów podstawowej osnowy geodezyjnej.

### *Prace kameralne*

Opracowanie autogrametryczne wykonano z wykorzystaniem stacji cyfrowej VSD-AGH. ~~Orientacja wewnętrzna metodą transformacji biliniowej dla głównego stereogramu (pokrycie 60%) wpasowała znaczki tłowe z dokładnością  $\pm 6\mu\text{m}$  dla zdjęcia lewego i  $\pm 3\mu\text{m}$  dla zdjęcia prawego.~~ Orientacja wzajemna z wykorzystaniem 12 par punktów homologicznych przyniosła błąd szczątkowej paralaksy poprzecznej  $\pm 0.35$  piksela, co daje odpowiednio na zdjęciu  $\pm 5\mu\text{m}$ , a w terenie błąd nie przecięcia promieni homologicznych  $\pm 10\text{mm}$ . Orientacja bezwzględna z wykorzystaniem wszystkich 9 fotopunktów wpasowała model w fotopunkty z dokładnością:  $m_x = \pm 26\text{mm}$ ,  $m_y = \pm 26\text{mm}$ ,  $m_z = \pm 23\text{mm}$ .

Pomiar stereoskopowy dotyczył obszaru opracowania o wielkości prostokąta o wymiarach 200x170m – rys 2. Dane wektorowe dla mapy sytuacyjnej obejmowały, poza typową zawartością obligatoryjną dla map zasadniczych, ~~głównie~~ elementy treści charakterystyczne dla tego obiektu. I tak przedstawiono poza krawędziami przyziemia murów zamku również: domniemany przebieg krawędzi (niewidoczny, przysypany ziemią), obrysy nieregularnych pozostałości murów (gruzowisk), naturalne linie obrysu skał, antropogeniczne krawędzie skał, linie strukturalne terenu oraz wybrane drogi i ścieżki gruntowe.



Rys.3. Dane do NMT (pikiety i linie charakterystyczne terenu) na tle utworzonego na ich podstawie modelu

Drugim niezależnym zadaniem był pomiar pikiet, linii nieciągłości, linii strukturalnych i linii wyłączeń dla potrzeb NMT wzgórza. Ogółem na modelach stereoskopowych pomierzono ok.10 tys. pikiet, co odpowiada średniej gęstości 3000 pikiet/ha, i średniej odległości pomiędzy pikietami 1.8m – rys 3. Pomiarom objęte były również skały wapienne wystające miejscami ponad powierzchnię terenu.

Obliczenie NMT wykonano z wykorzystaniem programu SCOP<sup>++</sup>, a ostateczną edycję mapy sytuacyjno-wysokościowej wykonano w programie MICROSTATION. Skalę wydruku przyjęto jako 1:200. Sytuację uzupełniono warstwicami o cięciu 25cm, z wyłączeniem skał, gdzie podano jedynie wysokości charakterystycznych punktów.

Warto zauważyć, że dla tego obiektu mapa wektorowa jest produktem bardziej wartościowym niż ortofotomapa, którą można było, na podstawie posiadanych danych, bez problemów wytworzyć. Mapa wektorowa jest wyciągiem informacji na których zależy odbiorcy. Wszystkie elementy mapy są rzutowane ortogonalnie. Natomiast ortofotomapa zawiera bardzo dużo szczegółów nieistotnych (np. dzika roślinność, drzewa, grupy turystów, hałdy wydobytej ziemi i gruzu, itp), a te istotne (mury, reliktory naskalne, itp.) przedstawione są z niekorygowanymi zniekształceniami radialnymi, utrudniającymi niewprawnemu użytkownikowi poprawną interpretację obrazu. Szczególnie jeśli skala ortofotomapy wynosi 1:200, a zdjęcie wykonane jest obiektywem szerokokątnym. Alternatywą dla mapy wektorowej jest jedynie „True-Ortofotomapa”, której koszt wytworzenia jest jednak dużo wyższy. Z punktu widzenia fotogrametrii należy lansować wśród odbiorców tylko takie produkty którymi można przyciągać, a nie zrażać do technologii fotogrametrycznych.

### **23. Cyfrowa inwentaryzacja architektoniczna pozostałości budowli zamkowych**

Fotogrametryczne, architektoniczne opracowanie cyfrowe powinno przebiegać zgodnie z poniższym schematem:

- wybór narzędzi, metod i materiałów do realizacji zadania,
- projekt wykonania zdjęć i definicja układu obiektu,
- sygnalizacja, wybór, pomiar i obliczenie fotopunktów,
- wykonanie, obróbka laboratoryjna i skanowanie zdjęć pomiarowych,
- strojenie i pomiar stereoskopowy zdjęć,
- opracowanie dokumentacyjnych rysunków wektorowych,
- opracowanie cyfrowych fotoplanów elewacji

Najbardziej odpowiedzialnym etapem jest poprawne sformułowanie warunków technicznych zadania, które zapewnią optymalny efekt końcowy opracowania. W przypadku tego obiektu pozostawiono nam „wolną rękę” dotyczącą zarówno zakresu jak i formy opracowania. Przyjęliśmy jako główny produkt cyfrowe fotoplany elewacji wykonane z wykorzystaniem przede wszystkim transformacji rzutowej. Większość elewacji jest płaska, a niepłaskość związana z erozją i destrukcją lokalną nie usprawiedliwia zwiększania kosztów opracowania dla wykonania ortofotomapy elewacji wolnej od tych niewielkich zniekształceń. Dla fragmentów murów, gdzie nie da się wyróżnić płaszczyzn ze względu na bardzo dużą destrukcję przewidziano bardziej zaawansowane metody przetwarzania. Uzupełniać dokumentację obiektu

miały rzuty i przekroje poprowadzone we wszystkich charakterystycznych miejscach obiektu, tak aby w sumie zawierały jak najpełniejszą informację przestrzenną.

Na etapie formułowania głównych założeń dokumentacji należy również określić kryteria dokładnościowe opracowania oraz docelową rozdzielczość obrazów wynikowych. Dokładność opracowania przyjęto jak dla standardowej skali 1:50 opracowań architektonicznych ( $m_p < \pm 15\text{mm}$  w terenie i  $m_p < \pm 0.3\text{mm}$  na mapie w skali 1:50). Inaczej sprawa wygląda z rozdzielczością fotoplanów. Przyjmując, że rozdzielczość wydruku 150 dpi (6 pikseli/mm) daje jeszcze w pełni akceptowalną jakość fotoplanu można wyliczyć wielkość pikseli terenowych. Przyjmując skalę wydruku 1:50 (założona skala opracowania) maksymalna wielkość piksela terenowego wyniesie 8mm (piksel wydruku x mianownik skali wydruku). Przedstawiony sposób rozumowania jest słuszny jedynie w przypadku kiedy jedynym produktem końcowym opracowania jest wydruk fotoplanu. W przypadku kiedy dokumentacja jest oddawana w postaci cyfrowej tak duży piksel terenowy dyskwalifikuje opracowanie - zawartość informacyjna obrazów jest zbyt zdegradowana. Dlatego niezależnie od „umownej skali opracowania” która odnosi się jedynie do charakterystyki dokładnościowej produktu należy jeszcze określić wielkość piksela terenowego fotoplanu charakteryzującego rozróżnialność szczegółów produktu końcowego. Należy przy tym pamiętać, że ogólnie rzecz biorąc rozdzielczość przetworzonych zdjęć pomiarowych (fotoplanów) nie może odbiegać znacząco od rozdzielczości obrazów źródłowych. ~~Najogólniej zasada ta mówi, że nie~~ Nie można zmniejszać wielkości piksela obrazu przetwarzanego w stosunku do obrazu źródłowego, ponieważ wtedy nominalnie zwiększamy rozdzielczość, ale nie zwiększa ona zawartości informacyjnej obrazu. ~~W drugą stronę: m~~ Możemy natomiast zwiększać wielkość piksela wynikowego zdając sobie sprawę z redukcji zawartości informacyjnej. Można sobie wyobrazić, że dla jednego obiektu przyjmiemy różne wartości pikseli wynikowych. Można to zrobić ~~np. w przypadku gdy ze względu na brak odejścia wykonamy zdjęcia w dużej skali, lub~~ gdy istnieje potrzeba opracowania detali z większą dokładnością. Wtedy wybrane fotoplany wykonujemy z większą rozdzielczością obrazową.



Rys.4. Fragment fotoplanu o pikselu terenowym 2mm ukazujący zawartość informacyjną wykonanej dokumentacji

~~Zasadą Mmozaikowania~~ przetworzonych obrazów składowych w fotoplan jest ~~możliwe wtedy, gdy jednakowa~~ wielkość piksela dla wszystkich- zdjęć składowych ~~jest jednakowa~~. Jeśli z warunków wykonania zdjęć wynikają duże różnice w skalach fotogramów składowych należy „wyrównać” różnice w wielkościach pikseli terenowych zdjęć odpowiednim doбором wielkości piksela skanowania. Ponieważ wielkość piksela terenowego wyliczamy poprzez iloczyn mianownika skali zdjęcia i wielkości piksela skanowania, to; o ile pierwszy parametr jest niezmienny to wielkością drugiego można korygować zawartość informacyjną obrazów składowych. ~~Metodę tą możemy stosować jedynie do obrazów analogowych~~. Dla zamku w Rabsztynie przyjęto rozdzielczość terenową fotoplanów wynikowych równą 2mm/piksel. W związku z tym wydruki fotoplanów nawet w skali 1:10 (125 dpi) ~~powinny będą~~ posiadały w pełni akceptowalną jakość obrazową. Dla potwierdzenia tej tezy na rys. 4.???? pokazany jest fragment fotoplanu wynikowego wydrukowany w skali 1:5 (ok. 60dpi) na którym widać bogactwo szczegółów sporządzonej dokumentacji.

Przed podjęciem decyzji sprzętowo- materiałowej konieczna jest wizja terenowa w wyniku której uzyska się dane do analizy. Ze względu na duże wymiary obiektu i docelowo wysoką rozdzielczość opracowania zdecydowano wykorzystać 2 kamery fotogrametryczne UMK o formacie zdjęć 13x18cm. Ze względu na niepłaskość fotografowanych ścian (wystające głązy, nisze, otwory itp.) wiodącą kamerą była UMK o ogniskowej 200 mm, zapewniająca dwa razy mniejsze przesunięcia radialne od płaszczyzny odniesienia niż pełniącą rolę uzupełniającą kamera UMK o ogniskowej 100 mm. Dodatkowo wykorzystano aparat cyfrowy Kodak DCS 760 o matrycy 2000x3000 pikseli. Rola jego sprowadzała się do pozyskania zdjęć pomiarowych małych pomieszczeń (np. pod główną bramą), niskich fragmentów



murów oraz uzupełniania ~~obrazów~~ martwych pól zdjęć z kamer UMK. Wykorzystywany był również aparat cyfrowy Kodak DC 260 (matryca 1000x1500 pikseli) do wykonywania fotoszkieł fotopunktów naturalnych wybieranych w górnych partiach murów.

Pewien problem stanowił wybór materiałów fotograficznych do kamery UMK. Standardowym materiałem do tych kamer były ortochromatyczne klisze szklane TO 1 firmy ORWO. Ze względu na trudną dostępność, bardzo wysoką cenę oraz niską światłoczułość, uniemożliwiającą wykonanie zdjęć z podnośnika hydraulicznego, zrezygnowano z ich wykorzystania. Bardzo wskazane ekonomicznie jest wykorzystanie tanich błon ciętych w miejsce drogich płyt szklanych. Problemem jest zapewnienie płaskości błony w kamerze jako warunku koniecznego dla uzyskania założonej dokładności opracowania. Autorzy podejmowali takie próby podczas wcześniejszych prac, gdzie błony umieszczane były w kasetach razem z płytami szklanymi na których miały się rozplaszczać. Efekty tych działań były nie zawsze poprawne (zdarzało się, że płaskość była niewystarczająca). Stąd, w ramach tego zadania, kontynuowano próby uzyskania płaskości błon stosowanych w kamerach fotogrametrycznych. W wyniku prowadzonych badań uzyskano bardzo dobre wyniki stosując przyklejanie błon do czystych płytek szklanych pokrytych warstwą „kleju wielokrotnego użytku”. Konfekcjonowanie tego kleju w pojemnikach pod ciśnieniem typu „spray” umożliwia pokrycie płytki szklanej cienką, równomierną warstwą kleju. „Wielokrotność używania” zapewnia możliwość wielokrotnego przyklejania i odklejania błony do raz napylonej płytki. Opracowana metoda została sprawdzona w warunkach tego obiektu i przyniosła bardzo dobre wyniki, nie gorsze od uzyskiwanych na kliszach szklanych.

Jako materiał fotograficzny wybrano błony panchromatyczne Kodak TMAX 100 Professional. Ten bardzo dobry materiał fotograficzny sprawdzony został w Egipcie podczas fotografowania obiektów o podobnym charakterze.

Warto również dodać, że stosowanie specjalnego, metalowego statywu z wyciągiem, umożliwiającym podniesienie kamery UMK w zakresie 0.8 m stwarza możliwość szybkiego wykonywania w terenie z jednego stanowiska stereogramów o bazie pionowej. Ten rodzaj pionowych stereogramów stosowany jest głównie tam gdzie stosowanie bazy poziomej wiąże się z ograniczeniem widoczności obiektu (np. rosnące drzewo przed elewacją). Dla zwykłych stereogramów stosowanie wyciągu umożliwiło podniesienie kamery na wysokość do 2.5m ponad poziom terenu, co w warunkach zamku miało często bardzo istotne znaczenie.

Projekt wykonania zdjęć obejmował: wybór stanowisk kamery UMK (stereogram, fotogram), określeniu rodzajów stereogramów (poziomy, pionowy) i ogniskowych obiektywu kamer UMK (100mm, 200mm), wybór fragmentów obiektu do fotografowania aparatem cyfrowym Kodak DCS 760. Najkorzystniejsze dla przyszłego fotoplenu jest wykonywanie zdjęć frontalnie naprzeciw płaszczyzny obiektu z połowy jego wysokości. Warunek ten stosunkowo łatwy do realizacji wewnątrz zamku był w zasadzie niemożliwy do spełnienia przy wykonywaniu zdjęć elewacji zewnętrznych ze względu na ich lokalizację na szczycie wzgórza. Budowanie na stromych zboczach wysokich rusztowań dla stanowisk kamer było zbyt kosztowne. Dla elewacji północnej i wschodniej zaprojektowano stanowiska naziemne poniżej podstawy murów wykonując zdjęcia skierowane w górę. Dla elewacji południowej i zachodniej dla których różnica poziomu podstawy muru od podnóża góry wynosi

ponad 30 m wykonanie naziemnych stereogramów było niemożliwe. Zaprojektowano wykorzystanie zamontowanego na samochodzie podnośnika hydraulicznego o wysokości 25 m., do wykonania trzech stereogramów. Bardzo pomocny przy projektowaniu tych zdjęć był model ze zdjęć lotniczych, na którym wyznaczono najbardziej optymalne usytuowanie stanowisk podnośnika z kamerą.

Dla każdego obiektu architektonicznego należy zdefiniować jego własny układ, w którym przedstawione będą wszystkie produkty inwentaryzacji. Najczęściej jest to układ przestrzenny równoległy do głównych osi obiektu o wysokości „0.0” na poziomie posadzki parteru. W przypadku tego obiektu składającego się z trzech różnych zespołów architektonicznych nie dało się wyróżnić wspólnej osi, oraz wspólnego poziomu. Ostatecznie układ obiektu przyjęto w taki sposób, że początek układu znajduje się na zewnątrz zamku w takim miejscu aby zapewnić dodatnie współrzędne wszystkim punktom obiektu, a jedna z osi jest równoległa do najdłuższej, wschodniej elewacji pałacu. Wysokość „0” układu przyjęto jako poziom posadzki bramy wjazdowej.

Kolejnym etapem prac terenowych była sygnalizacja wybór i pomiar fotopunktów. Na dostępnych bezpośrednio murach fotopunkty sygnalizowane były niewielkimi, malowanymi krzyżykami (rys 4.2.2). W miejscach niedostępnych fotopunkty wybierane były jako szczegóły sytuacyjne. Wyboru tego dokonywano z wykorzystaniem wydruków zdjęć cyfrowych stanowiących fotoszkie. Pomiar fotopunktów prowadzony był z punktów osnowy geodezyjnej metodą biegunową z wykorzystaniem tachimetru TCRA 1102 plus pozwalającego mierzyć odległości bez lustra. Dwukrotny, kontrolny pomiar biegunowy tych samych punktów z różnych stanowisk wykazywał dużą zgodność współrzędnych, potwierdzając doskonałą przydatność tego nowoczesnego narzędzia geodezyjnego do prac tego typu.

Zdjęcia pomiarowe wykonano zgodnie z przygotowanym wcześniej projektem. ~~Większość zdjęć wykonywano jako stereogramy do opracowań stereoskopowych.~~ Ogółem wykonano 27 stereogramów (8 kamerą normalnokątną i 19 szerokokątną). Dodatkowo wykonano 11 pojedynczych fotogramów dla płaskich fragmentów murów dla opracowania jednoobrazowego. Zdjęcia wykonywano w przedziale skalowym od 1:75 do 1:150. Jedyne w przypadku zdjęć zewnętrznych elewacji południowej i zachodniej skala zdjęć była mniejsza i wynosiła od 1:250 do 1:300. Te ostatnie 3 stereogramy wykonane zostały z podnośnika samochodowego o wysokości 25m i z odległości ok. 60m od ściany. Dodatkowo wykonano ok. 50 zdjęć z wykorzystaniem niemetrycznej kamery cyfrowej KODAK DCS 760. ~~Błony TMAX Professional 13x18 em wywołane zostały w firmowym wywoływaczu Kodaka XTOL.~~ Skanowanie negatywów wykonano na profesjonalnym skanerze fotogrametrycznym PHOTOSCAN TD z rozdzielczością 14µm. Jedyne dla zdjęć z podnośnika, które wykonane były w dwukrotnie mniejszych skalach od pozostałych zdjęć rozdzielczość skanowania zwiększono do 7µm. Wielkość terenowa piksela zeskanowanych zdjęć wahała się w granicach od 1.1mm do 2.1mm.

Opracowanie kameralne cyfrowych stereogramów pomiarowych przeprowadzono na stacji VSD-AGH po uprzednim zestrojeniu na fotopunkty w układzie obiektu. Przeciętny błąd średni po orientacji bezwzględnej nie przekraczał  $\pm 15$  mm dla każdej ze współrzędnych. Opracowanie stereogramów wykonywane było w dwojakim celu; dla wykonania rzutów i przekrojów, oraz dla pozyskania danych dla przetwarzania zdjęć w fotoplany.

Przyjęto i zdefiniowano 4 rzuty obiektu dostosowując wysokość cięcia do wysokości otworów okiennych: ~~-I tak pierwszy pod nazwą „rzut piwnie” jest cięty na wysokości -2.5 m, - Drugi pod nazwą „rzut parteru” jest cięty na wysokości +2.5 m, Trzeci pod nazwą „rzut I piętra” jest cięty na wysokości +6.5m, i czwarty „dodatkowy” cięty na wysokości +0.5m (dla pokazania dodatkowych otworów w elewacji południowej). Wysokości cięć dostosowano do wysokości otworów okiennych.~~

Przyjęte powyżej założenia poprowadzenia rzutów dotyczyły części architektonicznej pałacu i murów obwodowych zamku średniego. Nie dotyczyły natomiast posadowionego na wysokiej skale zamku górnego.

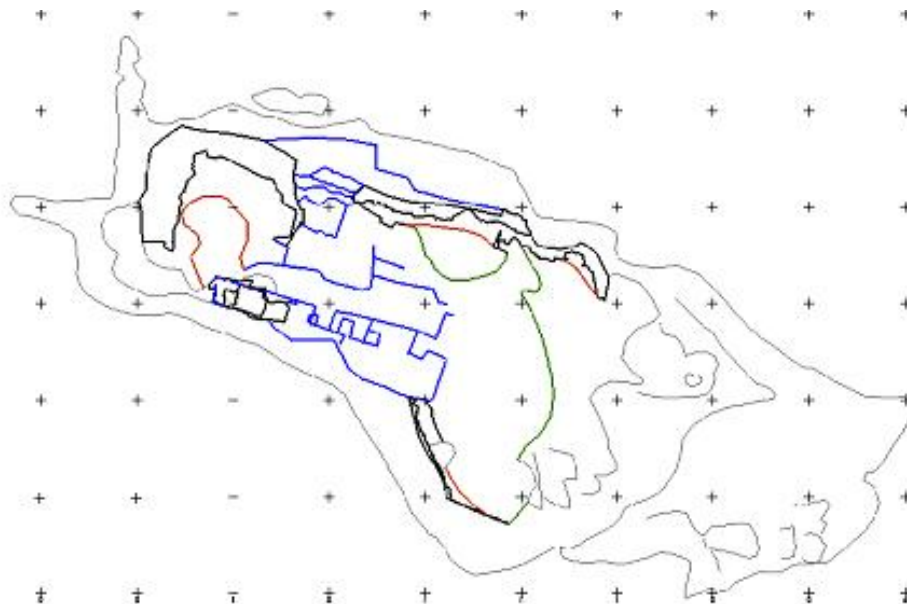
Zróżnicowanie przestrzenne naturalnego obiektu jakim jest skała, częściowo przeobrażonego i zabudowanego przez człowieka, nie jest łatwe. Dlatego, po analizie ~~przestrzennej~~ przyjęto następujące zasady jego przedstawienia:

- ~~R~~zuty i przekroje nie będą przecinać skały, bowiem nie da się wyróżnić płaszczyzn cięcia które miałyby być reprezentatywne, ~~a tym samym lepsze od innych,~~

- ~~R~~zut wierzchowiny skały z pozostałościami murów, krawędziami antropogenicznymi i naturalnymi, ze względu na bardzo duże zróżnicowanie wysokościowe obiektów przedstawiony zostanie jedynie w postaci widoku w dół, dając w efekcie mapę sytuacyjną wierzchowiny skały w skali 1:50 (rys.5.). Taki nietypowy, ~~piąty~~ rzut nazwano „rzutem zamku górnego”. Pokazany on został jedynie w obrysie przyziemia skały.

- ~~D~~la zobrazowania przestrzennego rozmieszczenia reliktyw zamku górnego ~~w płaszczyźnie pionowej~~ zdecydowano się przedstawić go również w rzucie na dwie płaszczyzny pionowe. Orientacje tych płaszczyzn są zgodne z przebiegiem linii pozostałości murów od strony południowej i wschodniej, a jednocześnie są równoległe odpowiednio do osi X i Y przyjętego układu obiektu. Takie widoki skały zamku górnego ~~wpo~~łączone zostały do przekrojówami całego obiektu.

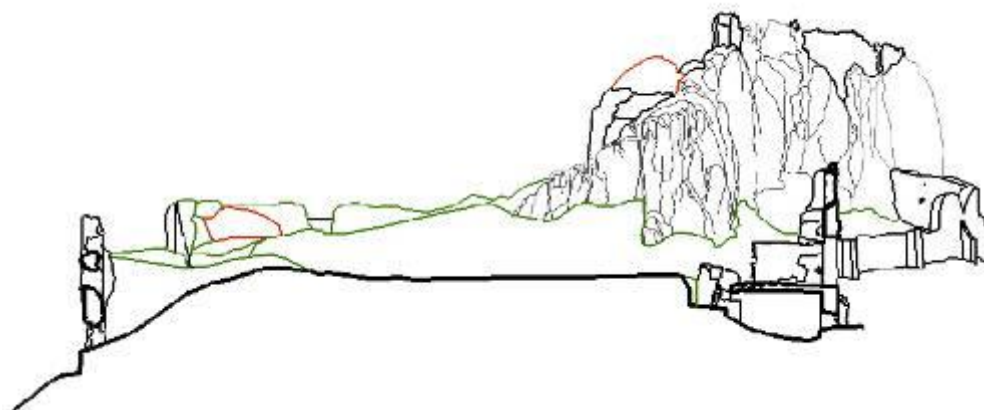
Przekroje pionowe poprowadzono tak, aby ukazać najbardziej charakterystyczne cechy obiektu. Przekrój nazwany „przekrojem podłużnym” przechodzi przez bramę i jest równoległy do elewacji wschodniej. Widok tego



Rys.5. Widok wierzchołkowy skały z relikami zamku górnego

~~stanowiąc element jego widoku.~~

przekroju jest skierowany na zachód (rys.6.). Przekrój pionowy nazwany „przekrojem poprzecznym” biegnie wzdłuż osi X układu na południe od skały i przecina mury zachodnie i elewację wschodnią. W widoku na północ pokazana jest skała z zamkiem górnym. Trzecim przekrojem jest przekrój pionowy zwany „przekrojem poprzecznym piwnic”. Poprowadzony został wzdłuż ściany północnej, wewnętrznej i przecina piwnice pod bramą główną. W widoku na północ pokazana jest elewacja północna wewnętrzna.



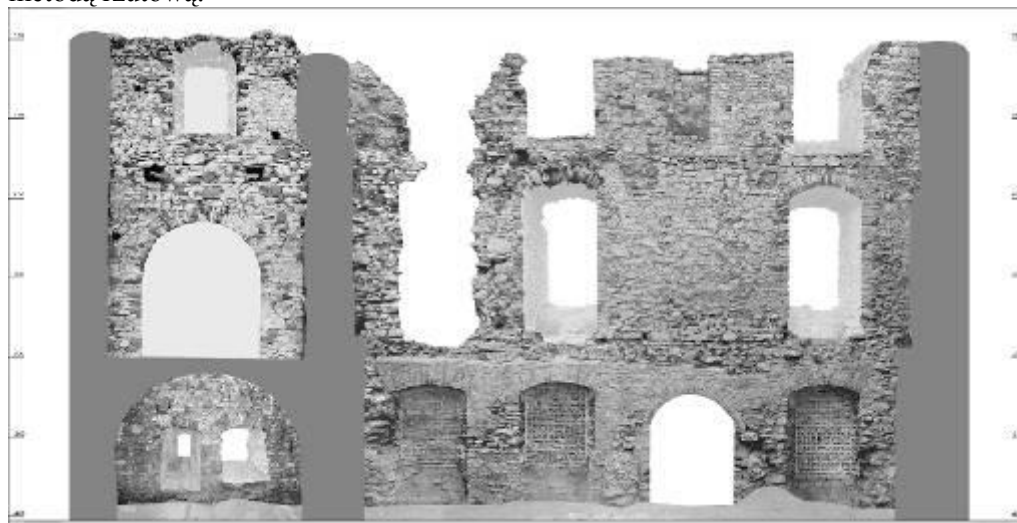
Rys. 6. Przykładowy przekrój pionowy zamku – przekrój podłużny (widok na zachód)

Drugą grupę produktów finalnych inwentaryzacji architektonicznej stanowiły fotoplany. Powstały one z łączenia fragmentów elewacji przetworzonych na płaszczyznę lub płaszczyzny do niej równoległe. Połączenie fragmentów ścian przetworzonych na jedną lub kilka płaszczyzn równoległych nazywamy fotoplanem

elewacji; połączenie wzdłuż wspólnych krawędzi fotoplanów ścian przetworzonych na różne płaszczyzny nazywamy fotoplanami rozwinięcia elewacji (mury północne i zachodnie). W postaci fotoplanów zostały przedstawione wszystkie ściany zamku.

Stosowano dwie metody przetwarzania zdjęć: przetwarzanie rzutowe oraz przetwarzanie trójkątami.

Metoda przetwarzania rzutowego przetwarza tylko punkty leżące w jednej płaszczyźnie, pozostałe są mniej lub bardziej niepoprawne. Jeśli punkty leżą w kilku płaszczyznach równoległych to można przetworzyć zdjęcie na kilka płaszczyzn, a potem dokonać zmontowania (zmozaikowania) w jedną całość. Aby to wykonać musimy znać przynajmniej 4 fotopunkty na każdym zdjęciu (dla każdej płaszczyzny). Metoda trójkątów, bardziej pracochłonna, polega na pomiarze na modelu stereoskopowym dużej ilości (od kilkuset do kilku tysięcy) punktów dostosowania na podstawie których następuje przetwarzanie obrazu małymi fragmentami (trójkątami utworzonymi z najbliższej sobie położonych punktów). Stosuje się ją tam gdzie nie da się wyróżnić płaszczyzn obiektu. Tą metodą przetworzono fragmenty muru zachodniego, oraz fragmenty muru zamku górnego. Pozostałe ściany przetworzono metodą rzutową.



Rys. 7. Przykładowy fotoplan elewacji wewnętrznej przetworzony na 5 płaszczyzn uzupełniony wstawkami z aparatu cyfrowego

Przyjęto kilka zasad przedstawiania na fotoplanach treści zdjęć (rys 7.):

- linie krawędzi elewacji do ekstrakcji treści zbytecznej pozyskiwano na autografie (łatwość interpretacji),
- stropy oraz ściany poprzeczne dochodzące do ściany przetworzonej pokazane były przekrojem wypełnionym szarością,
- nie przetworzone elementy wewnątrz otworów okiennych (zweżające się ściany otworów, sklepienie otworu, zamurowania należące do zewnętrznej elewacji, itp.) nie były usuwane z obrazu, lecz tylko bardzo rozjaśniane, umożliwiając pozyskanie informacji o zawartości otworu bez konieczności sięgania do drugostronnej elewacji.

#### 4. Podsumowanie

W opracowaniu kompleksowej, wielkoskalowej dokumentacji topograficzno-architektonicznej metody fotogrametryczne są niezastąpione.

Często oczekiwania odbiorców dotyczą tylko wydruków: mapy, fotoplanów, rzutów i przekrojów. Uważamy, że należy również dostarczać te produkty w postaci numerycznej. Mogą być one wtedy interaktywnie wykorzystywane przez specjalistów z różnych dziedzin. Na przykład w naszym przypadku wykorzystanie danych bardzo dokładnego modelu terenu (w postaci przekrojów i widoków z różnych punktów przestrzeni) pozwoli na analizę i racjonalne typowanie miejsc odkrywek archeologicznych dla odsłonięcia zasypanych obiektów, a mapa numeryczna i fotoplany umożliwią utworzenie różnych specjalistycznych warstw budowlanych, konserwatorskich, archeologicznych itp.

## **Literatura**

M. Borowiec, A. Boroń, J. Jachimski, A. Wróbel (2002) - Cyfrowa dokumentacja fotogrametryczna murów Shunet el Zebib, - Półrocznik AGH, Geodezja, tom 8, zeszyt 2, 2002 r.

Recenzował: prof. dr hab. Aleksandra Bujakiewicz