

**WSPÓŁCZESNE METODY
KONSERWATORSKIEJ DOKUMENTACJI
ZASTOSOWANE W KAPLICY ZYGMUNTOWSKIEJ**

CONTEMPORARY METHODS OF THE CONSERVATION
DOCUMENTATION APPLIED IN THE SIGISMUND CHAPEL

Ireneusz Pluska

Międzyuczelniany Instytut Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki Kraków-Warszawa
Akademia Sztuk Pięknych w Krakowie

Słowa kluczowe: rzeźba, kamień, termowizja, laser, elipsa
Keywords: sculpture, stone, thermovision, laser, ellipse

Wprowadzenie

Kaplica Zygmuntowska katedry wawelskiej jest bez wątpienia najpiękniejszą budowlą w stylu włoskiego odrodzenia poza Italią, nazywana „perłą renesansu na północ od Alp”. Wartość zabytkową ma tym większą, że zachowała swój wygląd z okresu renesansu bez większych zmian stylistycznych. Twórca Kaplicy Bartolomeo Berrecci i jego współpracownicy – rzeźbiarze, dekoratorzy i kamieniarze – tworzyli jakby zamknięty krąg artystyczny, ekspozyturę włoskiej sztuki w Polsce, w której pielęgnowano zasady sztuki dojrzałego renesansu. Dlatego można włączyć budowlę Berrecciego w linię rozwojową sztuki włoskiej, rozwoju kaplic grobowych, które wznosili najpierw Brunelleschi we Florencji, później jego następcy w innych miejscowościach Toskanii, w Rzymie, Neapolu, Wenecji, czy wreszcie na Węgrzech.

Kaplicę Zygmuntowską pod wezwaniem Wniebowzięcia Najświętszej Marii Panny, zwaną w przeszłości także Królewską, Rorantystów lub Jagiellońską, wzniesiono pomiędzy rokiem 1517 a 1533, jako mauzoleum grobowe króla Zygmunta I, a potem nieco przekształcono w kaplicę grobową również jego rodziny (Zygmunta Augusta, Anny Jagiellonki). Organizacją prac oraz podziałem środków finansowych na budowę kaplicy ze skarbu królewskiego zajmował się początkowo Jan Boner, bankier i doradca finansowy króla Zygmunta I, a po śmierci jego bratanek Seweryn Boner, murgrabia zamku i również bliski doradca króla w sprawach gospodarczo-finansowych.

Ramy i tematyka referatu nie pozwalają na opisanie całości zagadnień formalno-stylistycznych i wartości treściowo-ideowych wystroju rzeźbiarskiego kaplicy, wiadomości te można uzyskać z licznych publikacji dotyczących obiektu. Jednak najbardziej uderzającą

cechę kaplicy Zygmuntońskiej stanowi niezmiernie bogactwo i różnorodność form jej dekoracji rzeźbiarskiej, która na zewnątrz dużo skromniejsza, we wnętrzu niemal szczelnie pokrywa powierzchnie ścian od cokołowego gzymsu aż po sklepienie latarni kopuły. Zadziwia doskonała rzeźba marmurowych nagrobków, figur i medalionów świętych, a także odkute w piaskowcu mitologiczne przedstawienia oraz groteskowe ornamenty roślinne.

Według powszechnej opinii historyków sztuki i konserwatorów, prace renowacyjne w Kaplicy Zygmuntońskiej na Wawelu są obecnie jednymi z największych i najbardziej znaczących realizacji konserwatorskich w Europie. To wielkie przedsięwzięcie konserwatorskie i naukowe rangi europejskiej. Dlatego największa wartość historyczna i artystyczna obiektu zmuszała do niezwykle poważnego i rzetelnego przygotowania postępowania konserwatorskiego. Od dokładnego rozpoznania historycznego, budowy technologicznej poszczególnych elementów architektonicznych i rzeźbiarskich oraz właściwej metodyki konserwatorskiej zależało prowadzenie całego przedsięwzięcia i zarazem jego pozytywny efekt techniczny i wizualny po zabiegach konserwatorskich.

Konserwacja tej rangi obiektu rzutuje przykładem na tendencje w rozwiązaniach konserwatorskich na innych europejskich i światowych obiektach zabytkowych. Prezentuje również aktualny stan wiedzy konserwatorskiej opartej o najnowszą współczesną wiedzę naukową i materiałoznawstwo konserwatorskie.

Z uwagi na unikatową wartość historyczną oraz skomplikowaną problematykę konserwatorską, prace powierzono doświadczonemu zespołowi powołanemu przez Międzyuczelniany Instytut Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki, instytucji o uznanym dorobku naukowym i najwyższych kwalifikacjach w zakresie konserwacji dzieł sztuki i zabytków.

Poważne zniszczenia Kaplicy oraz wstępne badania wskazywały, że problematyka naukowo-badawcza jest istotnym aspektem wykonywanych prac. Przed przystąpieniem do prac konserwatorskich we wrześniu 2002 roku należało uzyskać dokładne informacje nie tylko o obecnym stanie zachowania kamienia, ale również o przyczynach i rodzaju zniszczeń oraz analizie poprzednich historycznych renowacji. Z dwóch materiałów kamiennych zastosowanych do wykonania dekoracji wnętrza Kaplicy Zygmuntońskiej tylko czerwony marmur z Węgier przetrwał do naszych czasów w dobrym stanie technicznym. Natomiast zasadniczy materiał, z którego wykonano wspianiałą wykładzinę rzeźbiarską, jakim jest zielonkawy glaukomitowy piaskowiec, pochodzący z nieistniejących już historycznych kamieniołomów z okolic Myślenic, od kilku wieków ulegał ciągłemu niszczeniu i sprawiał poważne kłopoty dawnym renowatorom Kaplicy.

Opracowanie prawidłowego i skutecznego projektu konserwatorskiego wymagało dokładnego i interdyscyplinarnego przebadania Kaplicy. Specjaliści z Politechniki Krakowskiej wykonali badania struktury murów, których budowa techniczna i technologiczna była dotąd nieznana. Naukowcy z Zakładu Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie opracowali i zastosowali metody laserowe do bezinwazyjnego czyszczenia laserowego powierzchni dekoracji kamiennej oraz wykonali badania termowizyjne ścian zewnętrznych i wewnętrznych Kaplicy. Naukowcy z Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie wykonali kompleksowe badania wszystkich materiałów kamiennych, łącznie z petrograficzną identyfikacją gatunków kamieni występujących w obiekcie i opracowali specjalną masę sztucznego kamienia do uzupełniania ubytków i rekonstrukcji brakujących rzeźb i dekoracji architektonicznych. Zakład Chemii Konserwatorskiej Wydziału Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki ASP w Krakowie wykonał wszystkie niezbędne analizy fizykochemiczne nawarstwień historycznych preparatów użytych do wcześniejszych napraw, a

ASP w Warszawie opracowuje nowatorski sposób dokumentowania stanu zachowania przed konserwacją oraz wykonanych prac metodą pomiaru skanerem laserowym 3D.

Wyspecjalizowane instytucje i pracownie zajmują się konserwacją zabytkowych krat metalowych z arkady wejściowej, renesansowego ołtarza oraz wykonywaniem nowych witraży okien.

Wszystkie badania i prace konserwatorskie wymagały szczególnego udokumentowania.

Kamień w architekturze i dekoracji Kaplicy

Budowie Kaplicy, jej wartościowemu wyposażeniu rzeźbiarskiemu oraz konserwacji i rekonstrukcji zastosowanego kamienia poświęcono wiele uwagi, natomiast szczegółowa charakterystyka rodzaju użytych skał nie doczekała się rozpoznania. Do budowy ścian Kaplicy i jej dekoracyjnego oblicowania B. Berrecci wybrał głównie piaskowce, określane w zapiskach z 1526 roku jako pochodzące „de monte Myslimicensi”. W szczegółowej dokumentacji prowadzonej w trakcie wznoszenia Kaplicy podano, że kamień do jej budowy pochodził z okolic Dobczyc i główną jego dostawa miała miejsce w okresie od jesieni 1521 roku do grudnia 1524. Prace rzeźbiarskie odbywały się w podwawelskim warsztacie Berrecciego, a pierwsze wyrzeźbione sztuki zaczęto przewozić na wzgórze wawelskie specjalnie wybrukowaną drogą już na początku 1524 roku.

Piaskowce pierwotnie zastosowane w Kaplicy mogły pochodzić z różnych jednostek litostratygraficznych, bowiem w okolicy Dobczyc występują wychodnie grubo- i średnioziarnistych piaskowców godulskich, istebniańskich i ciężkowickich, które znajdują powszechne zastosowanie jako materiał budowlany. Prowadzone od października 2002 roku prace konserwatorskie ułatwiły dostęp do wszystkich detali architektonicznych ścian, kopuły i latarni Kaplicy, dając możliwość określenia cech makroskopowych piaskowców oraz pobrania próbek do badań mikroskopowych. Chodziło również o bliższe określenie lokalizacji wydobywania kamieni, jak również o określenie właściwości technicznych skały, co miało niebagatelne znaczenie w pracach konserwatorskich.

Stwierdzono, że do wykonania kamiennej dekoracji B. Berrecciego użyto płyt prawie wyłącznie szarozielonkawego, sporadycznie ciemnozielonego piaskowca, natomiast w podstawie czaszy kopuły zastosował on w formie prostych ciosów piaskowiec szaróżłtawy. Szarozielonkawy, drobnoziarnisty piaskowiec został użyty również jako materiał konstrukcyjny ścian Kaplicy, co wykazały badania rdzenia z odwiertu, wykonanego na wysokości 170 cm od powierzchni posadzki przez Instytut Geotechniki Politechniki Krakowskiej. Piaskowiec ten tworzy wewnętrzną warstwę muru złożoną z bloków o grubości 37 cm. Od zewnątrz są one obudowane cegłą (39 cm) pokrytą płytami (10 cm grubości) piaskowca szydlowieckiego, który zastąpił w XIX wieku zniszczoną pierwotną okładzinę z szarozielonkawego piaskowca. Również we wnętrzu Kaplicy w latach 1891-94 wymieniono całkowicie pierwotny kamień latarni na piaskowiec szydlowiecki. Zniszczoną formę i ornamentykę skopiowano pod kierunkiem Stanisława Odrzywolskiego. Pozostawiono jedynie kopułkę z latarni – w centrum głowa anioła (z trzema parami skrzydeł, symbolizująca Boga) w otoczeniu napisu z imieniem architekta Kaplicy, BARTHOLO FLORENTINO OPIFICE i wieńca z dziewięcioma cherubinkami (rys. 1).

Dla weryfikacji zapisów archiwalnych dotyczących miejsc eksploatacji, omówione piaskowce użyte do wystroju Kaplicy porównywano z piaskowcami godulskimi rejonu Dobczyc. Utwory te tworzą równoleżnikowy pas wychodni rozciągający się pomiędzy Dobczycami a Sułkowicami, gdzie charakteryzują się zróżnicowanym wykształceniem facjalnym. Z tego względu do przeprowadzenia analizy porównawczej posłużono się 3 preparatami mikroskopowymi znajdującymi się w archiwum Zakładu Złóż Surowców Skalnych AGH. Reprezentują one piaskowce godulskie poziomu środkowego z rejonu Jawornika, położonego około 6 km na północny wschód od Myślenic. Badania petrograficzne wykazały, że piaskowce z tego rejonu i pochodzące z Kaplicy charakteryzują się podobnymi udziałami składników mineralnych, co wyraża wysoki ($r=0,99$) między nimi współczynnik korelacji. Jednocześnie wykazują one duże podobieństwo do piaskowców godulskich budujących Górę Bukowiec koło Jawornika. Wyniki badań stanowią potwierdzenie informacji o pochodzeniu piaskowców użytych do budowy i dekoracji Kaplicy, na możliwość ich dostarczania właśnie z kamieniołomów Góry Bukowiec. B. Berrecci jako przybysz z dalekiej Italii nie mógł znać rodzimych złóż kamieni nadających się szczególnie do robót rzeźbiarskich. Polecono mu zapewne złoża z tych okolic, położonych blisko Krakowa. Nie bez znaczenia były bowiem koszty transportu kamienia, przewożonego najczęściej piaszczystymi lub błotnistymi drogami przy użyciu zaprzęgów konnych.

Większość kamieniołomów występujących w rejonie Dobczyc ma znaczenie wyłącznie historyczne i nie są eksploatowane do kilku stuleci.

Badania wykonane na próbkach piaskowców pobranych w wielu miejscach Kaplicy, wykazały różny stan zachowania kamiennych elementów dekoracyjnych. Stwierdzono obecność poważnych zniszczeń na powierzchni kamienia, jak i w jego głębszej partii.

Oprócz piaskowców B. Berrecci zastosował w Kaplicy dwa rodzaje marmurów. Pierwszy z nich, przeznaczony na posadzkę, sprowadzono w formie płyt Wisłą z Gdańska w lutym 1527 roku. Nie wiadomo jednak jaki charakter dekoracyjny miała ówczesna posadzka, zastąpiona obecnie wapieniem bolechowickim, ale zapewne układali ją kamieniarze z warsztatu Berrecciego. Drugi rodzaj marmurów, określonych jako czerwony marmur węgierski, użyty został w Kaplicy do wykonania nagrobków, posągów, tond i stalli.

Marmury barwy czerwonej sprowadzono z Węgier, z kamieniołomów leżących u stóp góry Gerecse w pobliżu miejscowości Esztergom i Szekesfehervar. Marmur ten był z pewnością dobrze znany Berrecciemu, bowiem widział go już na wielu obiektach w Krakowie. Twierdził, że jest dobry do „takiej roboty”, a ponadto będzie go wygodniej sprowadzić do Krakowa niż inne. To ostatnie stwierdzenie wskazuje, że Berrecci przybył do Polski drogą przez Węgry, znana jego rodakom od ok. kilkunastu lat. Wprawdzie posyłał swoich pomocników do Nysy, Kazimierza nad Wisłą, Olkusza i Tenczyna, by szukali odpowiedniego marmuru, jednak takiego tam nie znaleźli. W listopadzie 1525 roku Berrecci wynajął woźniców i wysłał z nimi trzech kamieniarzy, którzy mieli wydobyć w kamieniołomach esztergońskich odpowiednie bloki marmuru. W maju i czerwcu następnego roku przywieziono do Krakowa sześć dużych bloków kamienia. Duży blok marmuru przeznaczony na leżący posąg króla Zygmunta I przywieziony zimą 1526/1527 roku nie nadawał się do przekucia i wykorzystano go na „inną robotę”. Sprowadzono więc nowy duży blok oraz siedem mniejszych (rys. 2). Transport marmuru odbywał się częściowo drogą wodną, a najczęściej lądową, konnymi zaprzęgami przez Budę, Bańską Bystrzycę i Rużemberok do Krakowa.

Marmur węgierski charakteryzuje się kontrastową kolorystyką, bardzo żywą i ekspresyjną. Ma charakter wapienia gruzłowego, w którym nieregularne gruzły, utworzone z silnego, zbitego, czerwonego wapienia mikrytowego tkwią w nieco jaśniejszych na tle zbu-

dowanym z mniej odpornego materiału, stanowiącego wapien ilasty. Dekoracyjność tej skały podkreślana jest ponadto przez liczne białe żyłki kalcytu o różnej grubości i przebiegu.

Ze względu na możliwość pozyskiwania go ze złoża w dużych blokach, bogactwo odmian barwnych oraz dobrą polerowność i związanych z tym walorów dekoracyjnych, był zawsze cenionym materiałem, chętnie używanym przez rzeźbiarzy.

Przed konserwacją, stan zachowania marmuru w Kaplicy w odróżnieniu od piaskowców wydawał się zadowalający. Zniszczenia dotyczyły głównie zmian powierzchniowych objawiających się zmatowieniem i zanikiem barwy, a także stopniową utratą poleru. Występowały również drobne, choć liczne ubytki marmuru, głównie o charakterze mechanicznym oraz spękania.

W programie konserwatorskim założono pełną rekonstrukcję brakujących form architektonicznych i dekoracji groteskowej. Zasięg powierzchni do zrekonstruowania jest ogromny. Łącznie ilość ubytków zastanych przed podjęciem prac i tych po usunięciu wadliwych gipsowych i cementowych rekonstrukcji szacuje się na około 40%. Zużyto około 1,5 tony specjalnej masy sztucznego kamienia. Recepturę masy imitującej piaskowiec glaukonitowy, występujący w Kaplicy, opracowano na specjalne zamówienie na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. Skonstruowana masa zakładana na mokro, dokładnie odtwarza mikrostrukturę piaskowca i jest z nim niemal identyczna pod względem uziarnienia i gęstości objętościowej. Odnacza się bardzo dobrymi właściwościami użytkowymi jak: dobra plastyczność, urabialność i łatwość nakładania. Posiada zbliżoną nasiąkliwość do kamienia oryginalnego, a jednocześnie nie uszczelnia kamienia, co zapewnia transport wilgoci z podłoża oryginalnego. Twardnieje w warstwach o dowolnej grubości i objętości, wykazuje dobrą przyczepność do kamienia, a także posiada niski skurcz. W przypadku zagrożenia szkodliwymi substancjami, zapewnia kumulowanie soli w jego strukturze, co jest pozytywną cechą zabezpieczającą ewentualnie kamieniarkę na długie lata.

Laser w Kaplicy Zygmuntowskiej

Międzyuczelniany Instytut Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki oraz Instytut Optoelektroniki WAT od wielu lat prowadzą wspólne prace związane z wykorzystaniem techniki laserowej w renowacji i diagnostyce dzieł sztuki i obiektów zabytkowych.

Niezwykle ważne dla „uzdrowienia” kamienia i przywrócenia mu pierwotnych walorów fakturalnych i kolorystycznych, było usuwanie nawarstwień z jego powierzchni. Szczególnie grube, nawet kilkunastomilimetrowe powłoki olejne, powodowały spłykanie i zacieranie detali rzeźbiarskich, które zatopione w warstwie farb były praktycznie niewidoczne. Usuwanie nawarstwień farb i innych trwałych zanieczyszczeń powierzchni kamienia wykonano przy użyciu urządzeń laserowych i metody laserowej ablacji nawarstwień (rys. 3). Urządzenie to po raz pierwszy zastosowano w Polsce na tak szeroką skalę. Jak się wydaje, prawdopodobnie Kaplica Zygmuntowska jest największym obiektem zabytkowym w Europie, czyszczonym obecnie metodą laserową (ok. 800 m² powierzchni).

Impuls laserowy odpowiedniej gęstości energii (mocy) jest zdolny do usuwania zbędnych nawarstwień z różnych powierzchni, bez uszkodzenia podłoża, które czasem – jak w przypadku piaskowca glaukonitowego Kaplicy – bywa bardziej kruche i delikatne od samych



Rys. 3. Urządzenie RENOVALaser 2 zastosowane w Kaplicy Zygmuntowskiej (fot. R. Szambelan)

nawarstwień. Nowa technika laserowa pozwoliła na uzyskanie nieosiągalnej jak dotychczas precyzji w usuwaniu farby olejnej oraz pobiał i cementów z powierzchni kamieni.

Urządzenie laserowe dostarcza energię w postaci światła. Energia ta uruchamia zjawisko ablacji, pozwalające na precyzyjny zabieg usunięcia nawarstwień zalegających na kamieniu – jest więc metodą bezkontaktową i bezpośrednio kontrolowaną przez dobór odpowiedniej gęstości energii w wiązce laserowej oraz częstotliwości repetycji impulsu, zapewniającej usuwanie nawarstwień w sposób precyzyjny, małymi porcjami (rys. 4). Znaczne różnice współczynników pochłaniania promieniowania laserowego nawarstwienia i podłoża decydują o selektywnym oddziaływaniu na określony obszar nawarstwień. W praktyce wiązka światła laserowego jest w stanie dokonać różniczenia pomiędzy nawarstwieniem a podłożem. Pozwoliło to w Kaplicy wyselekcjonować dokładnie to, co powinno być usunięte z powierzchni rzeźb, bez naruszenia podłoża kamiennego. Z całą odpowiedzialnością można stwierdzić, że jest

metodą zupełnie bezinwazyjną i bezpieczną dla zabytku.



Rys. 4. Ilustracja wpływu gęstości energii na grubość usuwanego nawarstwienia z piaskowca szydlowieckiego latarni Kaplicy Zygmuntowskiej. Widoczne etapy usuwania kolejnych warstw nawarstwienia.

Tego typu próby wykonuje się zawsze w celu uzgodnienia z konserwatorem stopnia oczyszczenia powierzchni obiektu zabytkowego. Gęstość energii w kwadratach wzrasta od lewej do prawej strony

Czyszczenie laserem nie wytwarza ogromnej ilości odpadów. Kontrastuje tutaj wyraźnie z metodami stosowanymi dotychczas, gdzie powstaje dużo odpadowego zbędnego materiału, np. zużytego ścierniwa, względnie zanieczyszczonej chemicznie cieczy. Jedynymi substancjami powstającymi podczas czyszczenia laserem są pyły i gazy z usuniętego materiału. Metoda laserowa nie używa niebezpiecznych chemikaliów lub innych żrących rozpuszczalników. Stosunkowo łatwo zapewnić bezpieczeństwo i komfort pracy konserwatora; używa on ubrania ochronnego, okularów i ewentualnie maski.

Badania termowizyjne

Celem prowadzonych w okresie: marzec 2002 – marzec 2003 r. badań i pomiarów cieplnych w Kaplicy Zygmuntowskiej było ustalenie miejsc o obniżonej izolacyjności cieplnej przegród budowlanych, określenie warstwy współczynnika przenikania ciepła oraz zaproponowanie rozwiązań usprawniających m.in. wentylację.

Do badań cieplnych wykorzystano kamerę termowizyjną, umożliwiającą rejestrowanie rozkładu pól temperatur na powierzchniach przegród budowlanych oraz miernika pomiaru gęstości strumienia ciepła. Pomiary prowadzono przy ujemnych, ustabilizowanych temperaturach powietrza zewnętrznego. Kamera termowizyjna jest urządzeniem umożliwiającym uzyskanie obrazu w zakresie promieniowania podczerwonego (ciepłego) fragmentów przegród lub całych przegród. Trwałą rejestrację obrazu pól temperatur zapisano na dyskietce 1,44 MB (rys. 5 i 6).

W Kaplicy Zygmuntowskiej zaobserwowano niewłaściwy rozkład pól temperatur na powierzchniach zewnętrznych – im wyżej, tym cieplej (zyski ciepła od nasłonecznienia przez okna latarni i tamburu przy braku wentylacji). Miało to wpływ na kształtowanie się niekorzystnego, warstwowego rozkładu wilgotności względem powietrza we wnętrzu, przy wadliwym funkcjonowaniu wentylacji grawitacyjnej w Kaplicy.

W celu usunięcia usterek w zakresie parametrów cieplno-wilgotnościowych występujących w Kaplicy, rozważono wykonanie niezbędnych prac modernizacyjno-konserwatorskich. Modernizacja okien tamburu przyczyniła się do zwiększenia ich izolacyjności cieplnej (nawet dwukrotnie) poprzez zastosowanie nowych witraży z podwójnymi szybami. Przy modernizacji okien latarni, celem zapewnienia w lecie i zimie wymaganej wentylacji, przewidziano w nich otwory umożliwiające odprowadzenie powietrza na zewnątrz. Modernizacja okien tamburu i latarni wraz z usprawnieniem wentylacji grawitacyjnej przyczyni się do poprawy parametrów mikroklimatu oraz stanu higienicznego (mikroorganizmy, pleśń, grzyby) powietrza we wnętrzu.

Dokumentacja prac konserwatorskich w technologii skanowania 3D

Nie istniały dotychczas pomiary Kaplicy, a dostępna dokumentacja graficzna miała charakter wykonywanych ręcznie rysunków inwentaryzacyjnych ścian budowli i widokowych przekrojów. Co do staranności ich wykonania nie można mieć żadnych zastrzeżeń i chociaż

stanowią one materiał historyczny, to nie są one w stanie spełnić narzuconych dzisiaj przez rozwój techniki wymagań. Do ich spełnienia stworzono mapę bazową na podstawie nowo przeprowadzonych pomiarów bezpośrednich techniką 3D przy użyciu skanera laserowego.

Założono, że kolejne etapy prac restauracyjnych: dokumentacja prac badawczych, pobieranie prób do ustalenia technologii, rozpoznanie stanu zachowania, dokumentowanie ingerencji konserwatorskich oprócz dokumentacji opisowej i fotograficznej będą dokumentowane na mapie cyfrowej. Bazowe podkłady takiej mapy będą przedstawiać w dostatecznym przybliżeniu rozwinięcie całej powierzchni ścian budowli. Mapa ta posłuży następnie do nanoszenia wszelkich orientowanych przestrzennie danych, związanych z przeprowadzonymi pracami konserwatorskimi. Do organizacji kartowań jednorodnych w układzie współrzędnych używany jest system informacji geograficznej.

Pomiary 3D skanerem laserowym mogą mieć wszechstronne zastosowanie i w zależności od konkretnych potrzeb i nakładów na opracowanie będą zawsze stanowić uniwersalne źródło danych dla nawet takich „egzotycznych” zastosowań jak wykorzystanie ich przy konstruowaniu trójwymiarowego modelu Kaplicy w wersji „architektury idealizowanej” (*wireframe* – model sieciowy), sporządzenie modelu dla renderingu, weryfikacji hipotez historyków sztuki o zastosowanych przez projektantów porządkach podziałów przestrzennych, czy wykonywaniu dokładnych kopii oryginalnych fragmentów rzeźbionych powierzchni przy użyciu takich technik CAM (*computer aided manufacturing* – produkcja wspomaganą komputerowo).

Kaplica Zygmuntowska i matematyka doby renesansu

Konserwacja Kaplicy Zygmuntowskiej i swobodny dostęp do wszystkich części architektonicznych był znakomitą okazją do przyjrzenia się budowie geometrycznej czaszy kopuły w świetle tekstów matematycznych dostępnych w czasach jej budowy.

Pierwszą wzmiankę o eliptycznym kształcie kopuły Kaplicy Zygmuntowskiej podaje S. Komornicki w swej publikacji w roku 1932 (Komornicki, 1932). Historycy sztuki i architekci przyjęli taką informację do wiadomości, ale nie było prawie żadnego zainteresowania, aby sprawdzić na drodze obliczeń matematycznych prawdziwość tej informacji. Dopiero w roku 2002 amerykański historyk architektury Gregory Todd Harwell (Harwell, 2002) przeprowadził obliczenia z rysunków pomiarowych Kaplicy i udowodnił, że powstała w latach 1519–1533 Kaplica miała charakter wyjątkowy, gdyż zaprojektował ją Berrecci w oparciu o nowatorską, nieeuklidesową geometrię analityczną. Tradycyjnie sądzono, że geometria analityczna pojawiła się w architekturze znacznie później. Przypisywano jej wprowadzenie Guarino Guariniemu w latach 60. XVII wieku (Marek, 1988), potem rozpowszechniła się w kierunku północnym, aby swe najszerze zastosowanie znaleźć w pracach architekta Baltazara Neumanna. Rudolf Wittkower napisał, że owa fantastyczna złożoność architektury Guarini’ego *wymaga nowej matematyki, i to właśnie Guarini dał jej początek poświęcając wiele miejsca w swych traktatach o architekturze przekrojom stożkowym* (Wittkower, 1982). I tutaj Wittkower się pomylił, bo pierwszych pionierów w użyciu geometrii analitycznej należało szukać w matematyce okresu renesansu. To właśnie Berrecci był jednym z renesansowych hellenistów, którzy wskrzesili matematykę starożytnej Grecji i dali początek nauce nowożytnej.

W trakcie prac konserwatorskich wykonano dokładne laserowe pomiary i obliczenia numeryczne kopuły dowodzące, że jest ona częścią elipsoidy obrotowej, której dłuższa oś jest pionową osią symetrii kopuły, a oś krótsza leży przy górnej powierzchni cokołu tamburu (rys. 7).

Na podstawie dostępnej literatury, naszych pomiarów, obliczeń z rozważań należy przypuszczać, że pionierem użycia geometrii nieeuklidesowej w polskiej architekturze był Bartolomeo Berrecci, architekt i budowniczy Kaplicy Zygmuntowskiej, który w roku 1517 przedstawił projekt kaplicy grobowej przy katedrze wawelskiej królowi Zygmuntowi I.

W roku 1525 zakończono zasklepienie Kaplicy, a centralne sklepienie – kopuła zaprojektowana przez Berrecciego była nowinką ówczesnej architektury, wykorzystującą krzywą inną niż okrąg, a mianowicie elipsę. Czy Berrecci był pierwszym, czy jednym z pierwszych architektów budujących kopułę o kształcie elipsy? Z dużym prawdopodobieństwem należy przypuszczać, że był pierwszym, gdyż tak jak wcześniej nadmieniano najwcześniejsze udokumentowane wzmianki „na piśmie”, mówiące o Guarino Guarinim, barokowym budowniczym kopuł eliptycznych pojawiają się dopiero po roku 1660.

Po przeanalizowaniu artykułu Todda Harwell'a nasuwa się przypuszczenie, że Berrecci w trakcie podróży z Krakowa do Wilna w roku 1517, mógł odwiedzić Kopernika przebywającego w tym czasie w Olsztynie lub Fromborku (niewielkie zboczenie z trasy przez Grodno). Być może przekonsultował z nim sposób obliczenia matematycznego krzywej elipsoidalnej kopuły, a nawet mógł skorygować wcześniejszy projekt? Jako jeden z kilku uczonych Europejczyków XVI wieku, Kopernik musiał znać krzywą stożkową – elipsę, gdyż rozumiał traktat Apolloniusza lepiej niż ktokolwiek ze współczesnych mu uczonych.

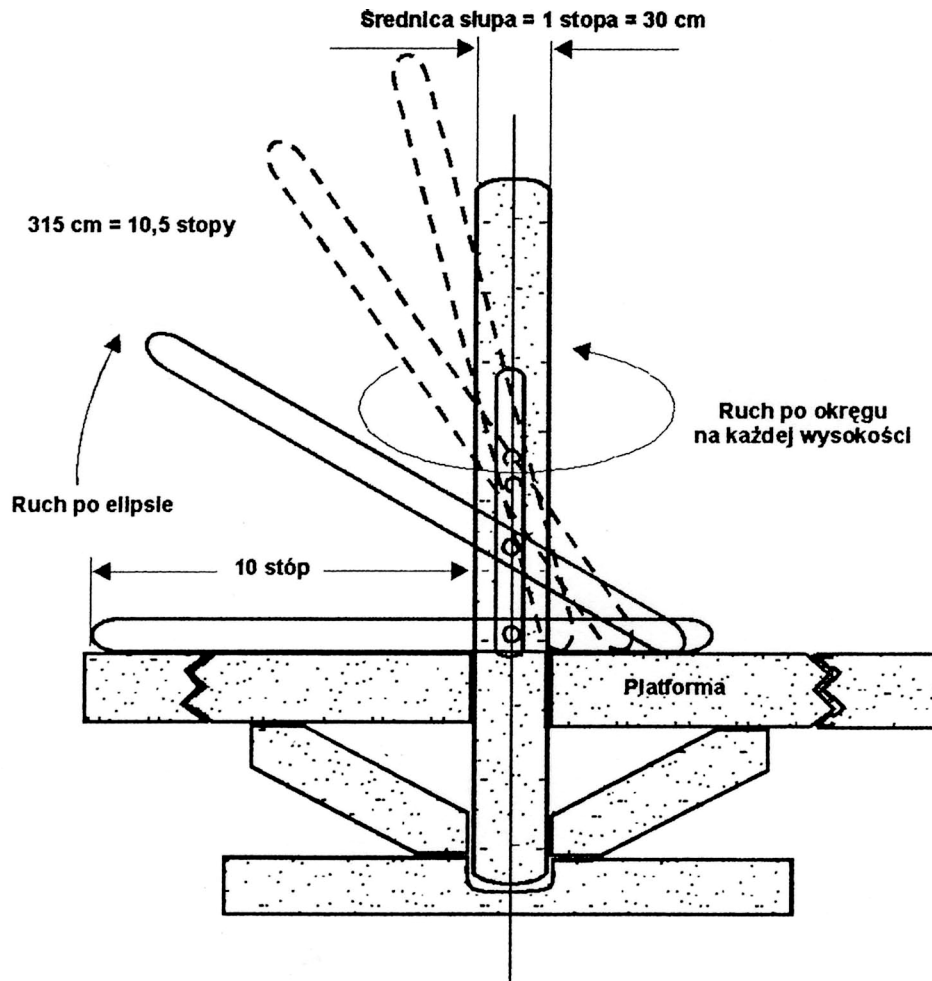
Kolejnym dowodem na to, że Berrecci znał krzywą stożkową może być fakt, iż w Kaplicy znajdują się inne „obiekty” w kształcie krzywej eliptycznej. Takimi obiektami są eliptyczne półtarcze w płaszczyźnie pionowej na ścianach tarczowych Kaplicy. Eliptyczne ściany tarczowe podtrzymujące tambur są rozwiązaniem zupełnie samodzielnym na tle współczesnej Berrecciemu twórczości architektonicznej.

Jednym z ciekawszych spostrzeżeń jest to, że wnęka Zygmunta Augusta wykonana przez innego architekta i rzeźbiarza Santi Guccio, jest również wnęką o kształcie eliptycznym. Gucci tak skonstruował wnękę eliptyczną Zygmunta Augusta, że dzięki dolnej elipsie i jej spłaszczeniu umieścił dwa nagrobki we wnęce pod fryzem.

Ściany tarczowe świadomie wykreślone przez Berrecciego z łuku eliptycznego mają na celu skrócenie wysokości przestrzeni pomiędzy dolną kondygnacją ponad fryzem a tamburem. W ten sposób Berrecci uzyskał doskonałe proporcje ścian tarczowych ze spłaszczonymi żagielkami oraz odpowiednią wysokość tamburu z okrągłymi oknami doświetlającymi wnętrze Kaplicy. To również nowatorskie spojrzenie projektanta, jakże inne od półkolistych nastaw w kopułowych budowlach włoskich czasów Odrodzenia (rys. 8).

Eliptyczny kształt kopuły z jego zwiężającym się ku górze podziałem zwiększa wrażenie skrótu perspektywicznego. Duże okrągłe okna tamburu, szczególnie wąska i smukła latarnia i elipsoidalna czasza kopuły są zasadniczymi elementami oryginalnej bryły kopuły widzianej od zewnątrz i wewnątrz.

Berrecci uwzględnił „niskie” światło nieba północy, z jakim zetknął się w oddalonym od Florencji Krakowie. Światło musiało padać do Kaplicy dołem i to ze wszystkich stron i niewielkiej wysokości, dlatego utworzył wysoki tambur z oknami na niskich, sztucznie spłaszczonych, eliptycznych ścianach tarczowych.



Rys. 8. Schemat urządzenia za pomocą którego Berrecci mógł wytwarzać klinowe ciosy elipsoidalne kopuły Kaplicy Zygmuntońskiej, a następnie wykorzystując to samo urządzenie, montować elipsy z milimetrową dokładnością na murach tamburu

Biorąc pod uwagę eliptyczny kształt kopuły oraz inne odcinkowe łuki eliptyczne w artykulacji architektonicznej obiektu i związany z tym układ wnętrza należy potwierdzić, że Kaplica Zygmuntońska przy takiej organizacji geometrycznej nie zdradza żadnego pokrewieństwa z tego rodzaju obiektami we Włoszech.

Można natrafić na podobne szczegóły geometryczne, ale w innych, znacznie skromniejszych konfiguracjach architektonicznych.

Czasze kopuł kolistych, lekko zaokrąglonych ku górze, nie mają nic wspólnego z kształtem eliptycznym kopuły Berrecciego (np. florencka kopuła Duomo Filipa Brunelleschiego lub kopuła Bazyliki w Loreto Giuliano do Sangallo).

Niewątpliwie nekropolia ostatnich Jagiellonów stanowi indywidualne i niepowtarzalne dzieło pod względem nowatorskim jak na ówczesne czasy podstaw geometrii analitycznej opartej na greckiej teorii matematycznej Apolloniusza, dającej początek hellenistycznej matematyce renesansu.

Literatura

- Chmiel A., 1913: Materiały archiwalne do budowy zamku. Wawel. Teka Grona Kons. Galicji Zach. t. II.
- Franaszek A., Przybyszewski B., 1991: Kaplica Zygmuntowska, Źródło do dziejów Wawelu, t. XIII, Kraków.
- Harwell G.T., 2002: The Sigismund Chapel and Renaissance of Mathematics”, [W:] Die Jagiellonen. Kunst und Kultur einer europäischen Dynastie an der Wende zur Neuzeit. Popp D., Suckale R. (hrsg.) Germanisches Nationalmuseum, Nürnberg, pp. 365-374.
- Kalinowski L., 1989: Treści artystyczne i ideowe Kaplicy Zygmuntowskiej [W:] Speculum artis. Treści ideowe dzieła sztuki średniowiecza i renesansu. Warszawa.
- Kamieński M. i inni, 1968: O wykształceniu i własnościach technicznych piaskowców godulskich. Zeszyty Naukowe AGH. *Geologia* z. 12.
- Komornicki S., 1932: Kaplica Zygmuntowska w Katedrze na Wawelu, *Rocznik Krakowski* t. 23, s.47-120.
- Koss A., Marczak J., 2002: Technika laserowa w konserwacji dzieł sztuki, *Renowacje i Zabytki*, nr 2.
- Kozłowski R., 1961: Nowa metoda konserwacji i warstwicowych pęknięć piaskowca w Kaplicy Zygmuntowskiej, *Studia do dziejów Wawelu*, t. II, Kraków: s. 84-89.
- Meek H.A., 1988: Guarino Guariniemi and his Architecture, New Noven – London.
- Majewski A., 1993: Wawel – dzieje i konserwacja, Warszawa.
- Mossakowski S., 1986: Zmiany kamiennej dekoracji rzeźbiarskiej Kaplicy Zygmuntowskiej przy Katedrze Krakowskiej w XVIII i XIX wieku, *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, z. 3-4.
- Mossakowski S., 1994: Kiedy, jak i przez kogo wznoszona była i dekorowana Kaplica Zygmuntowska, *Kwartalnik Architektury i Urbanistyki*, t. XXXIX, z. 2.
- Przybyszewski B., 1994: Dzieje Konserwacji Kaplicy Zygmuntowskiej [w:] *Studia Waweliana*, t. III, 1994.
- Procyk W., 1998: Marmury królewskie – zjawisko wietrzenia i problemy konserwacji, ASP Warszawa.
- Rembiś M., Smoleńska A., 2003: Charakterystyka i przejawy zniszczeń piaskowców zastosowanych w Kaplicy Zygmuntowskiej przy Katedrze Wawelskiej, *Mat. Konf. Nauk. Kamień architektoniczny i dekoracyjny*, Kraków AGH, 23–24 września.
- Słomka T., 1995: Głębomska sedymentacja siliklastyczna warstw godulskich Karpat, *Prace Geolog.* 139, 1995.
- Tomkowicz S., 1894: W sprawie konserwacji i zabytków sztuki i przeszłości, Józefa Czecha kalendarz krakowski na rok 1895, Kraków.
- Tomkowicz S., 1901: Katedra na Wawelu i jej obecna restauracja, Kraków.
- Wittkower R., 1982: Art and Architecture in Italy 1600 to 1750, New Haven 1982.

Summary

The Sigismund Chapel on Wawel Hill is undoubtedly an exceptional and most valuable structure in the style of Italian Renaissance created outside Italy. It has the higher monumental value that its sculpture decorations preserved their Renaissance form without major changes in the style.

In the years 2002-2004 general renovation of the Chapel was carried out. An interdisciplinary team of specialist has done a tremendous job. The conservation raised great interest of conservation community not only in Europe but in the world. During the works the chapel was visited by Japanese conservators who earlier performed conservation of the Sistine Chapel in Vatican.

The work of art of this rang required a thorough research as the source of information about itself. To read correctly this information a kind of „critical analysis” or checking of its trustworthiness had to be performed. The conservator-researcher must know if he deals with original message of the artist

from ages ago, or with a destructed element, and maybe with a preparation distorting author's intentions. Documented research and conservation works play this very important critical role providing for instance, art historians with a chance to step on relatively firm ground.

This new conservator's task of a researcher and a documentarian was only quite recently generally recognized and significantly complicated his work as he has to combine artistic competences with those of a researcher. Therefore, scientists with different specializations are often invited to join the team. Much effort was made in conservation of the Sigismund Chapel to fulfill these complex tasks. In effect, the chapel was restored to resemble as much as possible its original state, and at the same time all previous and new interferences in its structure were diligently documented. Contemporary and future researchers will have documentation providing trustworthy material for analysis.

Cracow University of Technology conducted research and documentation of structural analysis of walls; their technical and technological construction was not known so far. Scientists from Optoelectronic Section of the Military University of Technology (WAT) used the laser method to clean surfaces of stone decorations. Precise measurements and digital calculations of the cupola were also made. They proved that it constitutes was designed on the ellipsoidal plan, not known earlier in European architecture. This justifies the statement that Bartolomeo Berecci was a pioneer in the use of Euclid's geometry in Polish architecture.

The scientists from WAT also performed and documented thermo-vision examination of inner and outer walls of the chapel. Colour thermo-visual image allowed to precisely determine localization of measurement points of the stream of warmth penetrating through construction ducts.

At Geology, Geophysics and Environment Protection Department of the University of Science and Technology (AGH) comprehensive research of all stone materials was conducted, including petrographic identification of the grades of stone and a special artificial mineral material was developed for reconstruction of missing parts of decoration.

The Conservatory Chemistry Section of the Academy of Fine Arts in Cracow performed and documented all necessary physical and chemical analyses and "Dephos" firm elaborated an innovative method of making an inventory of the chapel with laser scanning and computer processing in digital technology of the state of preservation and conservatory works executed.

Extremely important historical information is preserved and kept for future generations of conservators in so called "documentation in the object" in the form of "witnesses" of old techniques, renovation technologies and historical materials sciences.

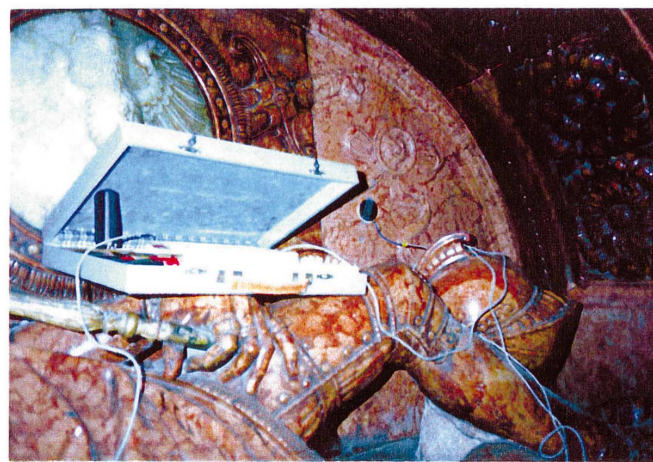
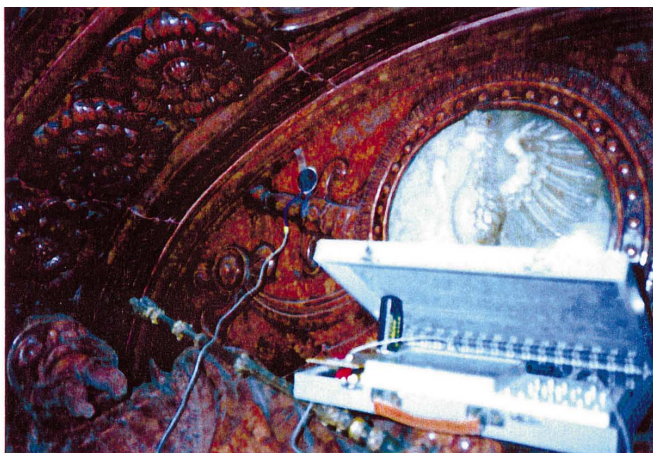
prof. Ireneusz Pluska
zerogoz@cyf-kr.edu.pl



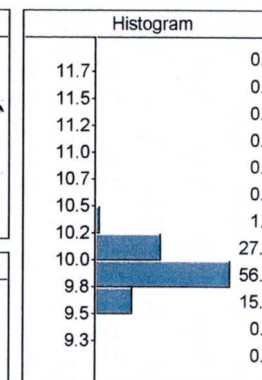
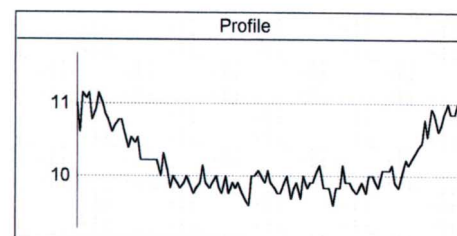
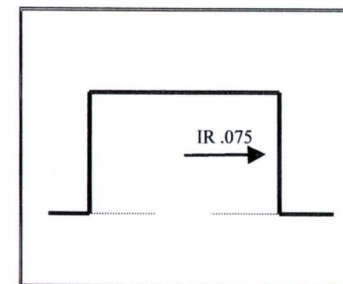
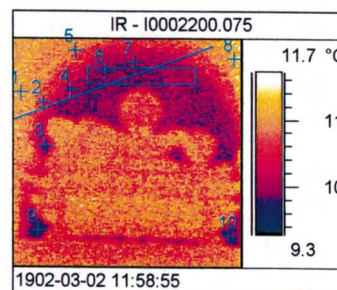
Rys. 1. Kopuła Kaplicy Zygmuntowskiej – znak rozpoznawczy mistrza Bartolomeo Berrecciego
(fot. Jacek Kubienia)



Rys. 2. Marmurowy nagrobek Zygmunta Starego – stan po konserwacji (fot. Jacek Kubienia)

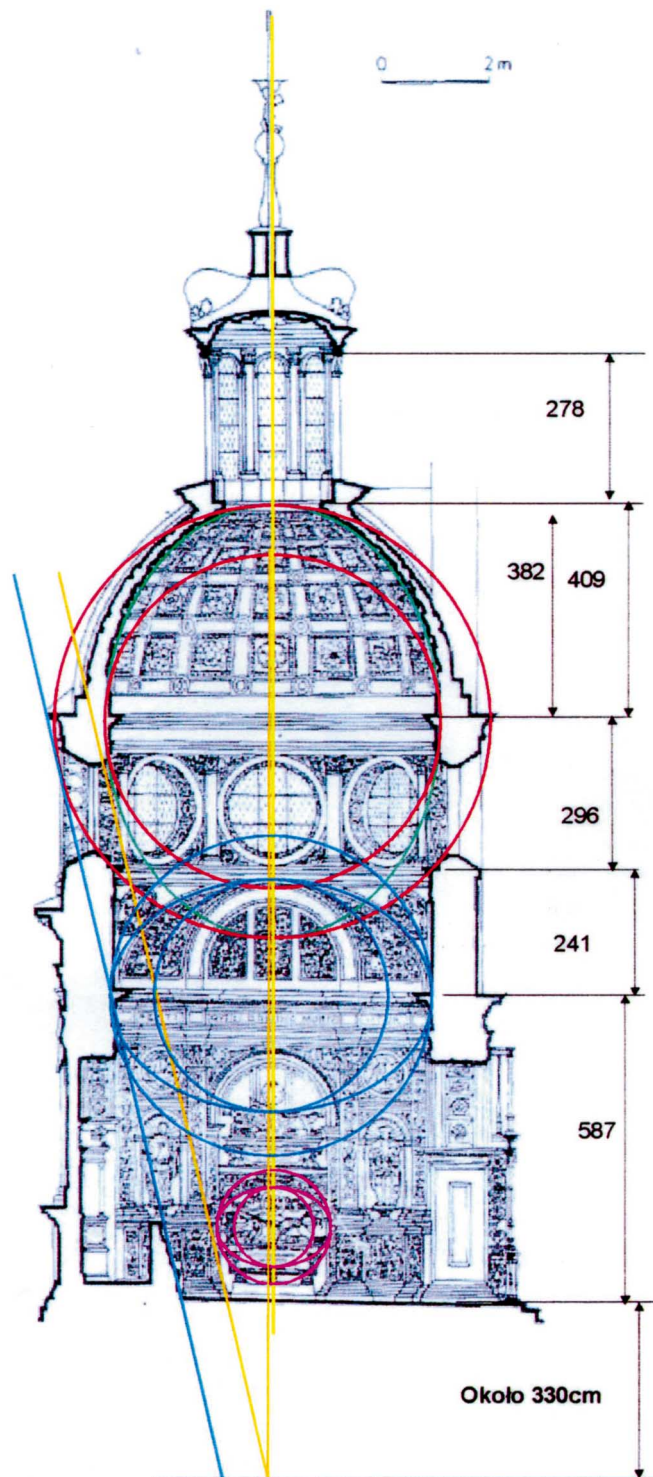


Rys. 5. Kaplica Zygmuntowska – lokalizacja punktów gęstości strumienia ciepłego przenikającego przez ścianę zewnętrzną w niszy nagrobka Zygmunta Augusta; pola temperatur przedstawiono na termogramach



Results							
°C	I0002200.075	1902-03-02 11:58:55					
	Temp						
SP01	11.1						
SP02	10.5						
SP03	9.8						
SP04	10.0						
SP05	10.9						
SP06	9.8						
SP07	10.0						
SP08	11.0						
SP09	9.6						
SP10	10.0						
LI01		Min	Max	Diff	Avg	Med	Sd
AR01		9.6	11.2	1.6	10.2	10.0	0.4
		9.3	10.5	1.2	10.0	9.9	0.2

Rys. 6. Termogram wewnętrzny nagrobka Zygmunta Starego (opr. dr inż. Jarosław Wasilczuk)



Rys. 7. Wykreślenie elementów architektonicznych o kształtach eliptycznych
(opr. prof. dr hab. Jan Marczak)