

SŁAWOMIR SKIBIŃSKI
LECH JAGODZIŃSKI

METODY BADAŃ KOMPUTEROWYCH ZABYTEKÓW ORAZ DOKUMENTACJI I PREZENTACJI MULTIMEDIALNEJ

1. ZARYS STANU BADAŃ

Od końca lat siedemdziesiątych, różne ośrodki w Polsce, pracowały nad stworzeniem założeń baz danych oraz programów komputerowych dla potrzeb ochrony i konserwacji dóbr kultury. Wymienić tu należy, bardziej znane prace zrealizowane na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Ośrodku Dokumentacji Zabytków w Warszawie i w Gdańsku, Muzeum Narodowym w Warszawie i na Politechnice Krakowskiej [1].

W końcu lat osiemdziesiątych podjęto próbę zintegrowania prac w ramach Resortowego Programu Badań Podstawowych I.11. pt. *Naukowe podstawy ochrony i konserwacji zabytków* (1988-1990). W ramach tego programu, prowadzone były prace nad wykorzystaniem osiągnięć współczesnej informatyki na rzecz ochrony zabytków, w dwóch grupach tematycznych RPBP I.11., a mianowicie: w grupie A.8. podprogramu A – *Automatyzacja przetwarzania danych w konserwacji zabytków* oraz w grupie B.2. podprogramu B – *Analiza stanu zabytków i opracowanie nowych metod ich dokumentacji*.

W ramach Podprogramu A, powstał system informacji naukowo-konserwatorskiej KONZAB (Konserwacja Zabytków) oparty o mikrokomputery klasy IBM-PC 386, którego autorami byli K. Wieczorkowski i T. Jaśniewski [2]. Składa się on aktualnie z pięciu baz danych zarządzanych przy pomocy systemu wyszukiwania informacji CDS-ISIS MIKRO wer. 2.3 i pracuje pod kontrolą systemu operacyjnego MS-DOS w wersji 3.30 lub wyższej. Projekt oparto na wcześniej opracowanym podobnym systemie przeznaczonym dla komputerów RIAD-32 [3]. System KONZAB zawiera następujące bazy informacyjne: o materiałach konserwatorskich, o bibliografii, o metodach badań i sposobach przeprowadzania zabiegów, o niektórych rodzajach dokumentacji obiektów konserwatorskich oraz o specjalistach z zakresu konserwacji zabytków. System ten jest typową, rozbudowaną bazą danych, i służy do gromadzenia i wyszukiwania danych tekstowych, jednak bez możliwości dołączania danych obrazowych (fo-

tograficznych). Przeznaczony jest dla dużych ośrodków informacji konserwatorskiej i bibliotecznej. W obecnej formie, ze względu na rozbudowane funkcje oraz sprzęt, jest mniej przydatny dla gromadzenia danych w pracowniach konserwacji dzieł sztuki.

Biorąc pod uwagę obecny stan prac nad budową komputerowego systemu dokumentacji zabytków ruchomych oraz ogromny postęp w rozwoju nowoczesnych baz danych pracujących na mikrokomputerach, można jednoznacznie stwierdzić, że brak jest standardowego oprogramowania związanego z tworzeniem baz danych pt: *Dokumentacja konserwatorska zabytków ruchomych*, w pełni realizującego założenia stosowanego od około 20 lat schematu dokumentacji konserwatorskiej zabytków ruchomych [4].

W ostatnich kilku latach w Oddziałach Wojewódzkich Państwowej Służby Konserwatorskiej powstały komputerowe kartoteki adresowe, w których umieszczono adresy obiektów wpisanych do rejestru zabytków. W Muzeum Archeologicznym w Poznaniu opracowano relacyjną bazę danych dla potrzeb województwa poznańskiego związaną z tzw. Archeologicznym Zdjęciem Polski., którego celem jest objęcie rejestrem wszystkich stanowisk archeologicznych w Polsce.

W ramach Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków s.c. w Toruniu, prowadzone są od przeszło kilku lat prace, zmierzające do opracowania ujednoliconego oprogramowania dla potrzeb dokumentacji zabytków ruchomych. Prace prowadzone są w dwóch kierunkach. Tworzone jest oprogramowanie systemu komputerowych kartotek dla wspomagania prac i zarządzania małymi pracowniami konserwatorskimi **PRACOWNIA KONSERWATORSKA System kartotek KORNIK** oraz oprogramowanie dużej bazy danych przeznaczonej dla służb konserwatorskich i muzealnych **DOKUMENTACJA ZABYTKÓW RUCHOMYCH Baza danych NASCA**. Bazy te miały podstawową wadę. Nie miały charakteru uniwersalnego oraz były nieprzyjazne w stosowaniu [5,6].

Kolejnym etapem prac Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków założeń multimedialnej dokumentacji zabytków, przyjaznej użytkownikowi. Ponadto zostały rozbudowane podstawy teoretyczne pomiarowych technik wykorzystujących kamery CCD w różnych zakresach spektralnych oraz budowa nowych urządzeń pomiarowych, jakim jest stanowisko do komputerowej mikroskopii oraz do badań barwometrycznych. W kolejnych rozdziałach przybliżymy niektóre zagadnienia z teorii analizy obrazowej, technik pomiarowych przy użyciu techniki kamer CCD oraz oprogramowania.

2. METODA VIDEOGRAFII W BADANIACH I DOKUMENTACJI ZABYTEKÓW

2.1. WSTĘP

Jednym z pierwszych zastosowanych do badań obiektów zabytkowych systemów video był system zbudowany przez J.R.J. von Asperen de Boer [7] oraz K. Nicolausa [8]. Autorzy ci wykorzystywali system – kamera i monitor, bez analizy komputerowej, do badań w podczerwieni. Kamera rejestrująca obrazy w podczerwieni wyposażona była w lampę analizującą typu vidicon, której warstwa światłoczuła reaguje na zakres podczerwieni [9].

Na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, powstała kamera japońskiej firmy Hamamatsu typ C2741, przeznaczona do pomiarów kontrolnych i wizualizacji procesów. Kamerę tę cechują dobre parametry techniczne, takie jak: wysoka rozdzielczość, małe zniekształcenia i stabilność odwzorowania geometrycznego. Zdolność dedekcyjna kamery została znacznie udoskonalona, przez wbudowanie obwodów poprawiających kontrast. Ponadto została wyposażona w dwanaście wymiennych lamp analizujących, o różnej rozdzielczości i czułości widma (m.in. lampy typu: Plumbicon, Satikon, Newicon, Silicon). Kamera ta została zastosowana w kilku ośrodkach konserwatorskich do badań obiektów polichromowanych. Powyższe systemy nie były wyposażone w narzędzia do komputerowej analizy uzyskiwanych obrazów. Różne zakresy widma uzyskiwano przy pomocy odpowiednio dobranego obiektywu oraz przy pomocy filtrów o wybranych zakresie falowym.

Sprzęt video jest stale doskonalony przez firmę Hamamatsu. Obecnie ta firma produkuje kilka typów kamer oraz obiektywów. Do najważniejszych z punktu widzenia zastosowania do badań obiektów zabytkowych, zaliczyć należy następujące typy kamer z lampami analizującymi: kamery serii C 2400 (uniwersalna), C 5332 (monitoring) i najbardziej precyzyjne kamery serii C 1000. Niektóre z tych kamer (np. C 3077, C 5405) wyposażone są w przetworniki CCD.

Lampy analizujące, w zależności od typu, są czułe zasadniczo w zakresie 400-1800 nm, przy rozdzielczości 650-700 linii. Jedna z nich, Infrarot Vidicon PbS N 2606-06, pracuje w zakresie 400-2200 nm.

Dla ograniczenia wpływu zakresu widzialnego oświetlenia na analizowane obrazy, w celu odcięcia tego zakresu, firma Hamamatsu zaleca stosowanie filtrów typu IR D 70 (50% transmisji światła powyżej 850nm) i IR D 80A (50% transmisji światła powyżej 1000 nm) [10].

Powyższy sprzęt zasadniczo służy do monitoringu badanych obiektów na ekranie monitora telewizyjnego. Dopiero w końcu lat 90-tych, systemy te zostały zaopatrzone w drukarki, do wizualizacji wyników badań oraz odpowiednie

komputerowe narzędzia do korekty obrazów. Komputerową korektę obrazów wykonuje się przy pomocy programu PC-TA Streak-Software wer. 6.0. Program ten, pracujący w środowisku Windows 3.1 potrafi wyświetlać w czasie rzeczywistym obrazy uzyskiwane z kamery typu CCD z rozdzielczością 500 x 500 punktów lub 1000 x 1000 punktów w 16 bitowym kolorze (ok. 65000 odcieni). Program nie posiada jednak narzędzi do przeprowadzania analizy uzyskanych obrazów.

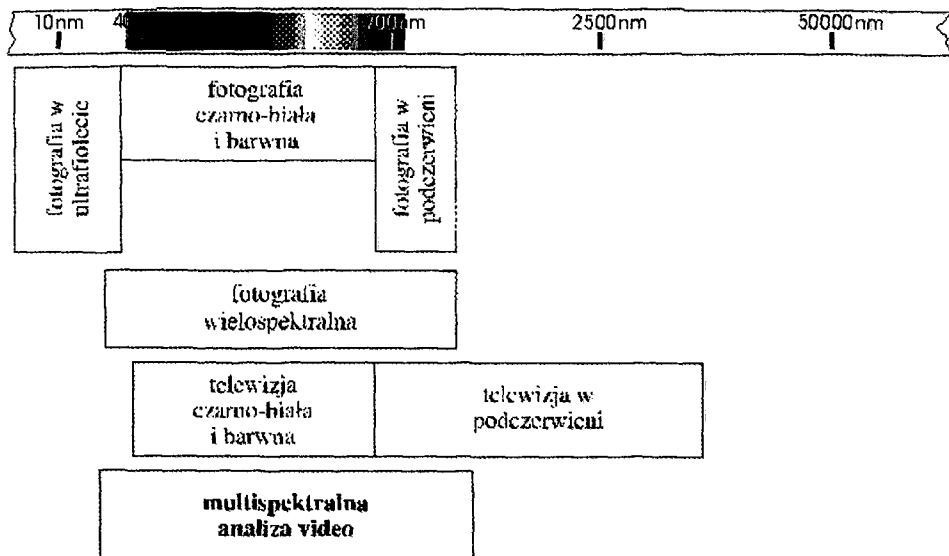
Na początku lat 90-tych, w Niemczech, zbudowano system komputerowy pod nazwą DOKUMOBIL przeznaczony do wykonywania dokumentacji obiektów zabytkowych. System składa się z kamery KODAK Kamera DCS 200, wyposażonej w odpowiednie obiektywy oraz oprzyrządowanie, drukarki KODAK Printer (Color/DIN A4) i oprogramowania pracującego w środowisku Windows: PhotoStyler i Rio. KODAK Kamera DCS 200 charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami technicznymi: przekątna elektronicznego obrazu z filtrem mozaikowym (CCD-CHIP) jest jednak mniejsza niż klatka filmu małoobrazkowego i wynosi tylko 17 mm. Zamiast obiektywu o ogniskowej do normalnych ujęć można stosować obiektyw o ogniskowej 20 mm. Parametry kamery są następujące: wymiary sensora 14x9.3 mm, rozdzielczość 1024x1536 punktów i 24 bitowy kolor. System jest przeznaczony, przede wszystkim do wykonywania dokumentacji zdjęciowej stanu zachowania obiektów dla potrzeb konserwatorskich, ale nie do prac związanych z diagnostyką i interpretacją wykonanych zdjęć.

Ostatnio na świecie ukazuje się coraz więcej prac związanych z analizą obrazów dla potrzeb konserwatorskich. Brak jest jednak opracowań o charakterze podstawowym, ujmującym zagadnienie metodycznie, zarówno od strony teoretycznej jak i praktycznej [11, 12, 13].

W Polsce zastosowaniem telewizji przewodowej do badań obrazów polichromowanych zajmował się T. Widła [14] z Zakładu Kryminalistyki Uniwersytetu Śląskiego w Gliwicach. Wykorzystywał on kamery wyposażone w vidicony, tzn. kamerę polską TPK-16 i japońską AVC-3450 CE, których zakres spektralnej czułości zamyka się w granicach 350-800 nm. W celu rozszerzenia tego zakresu wymieniało stosowano w kamerze TPK-16 vidicon 7262A produkcji Englisch-Electronic-Hitachi na plumbicon F 2,5 M-3-UR produkcji niemieckiej o zakresie spektralnej czułości 500-1900 nm. Konieczny zakres widma (powyżej 680 nm) uzyskiwano stosując filtr UG-7 oraz filtry fotograficzne AGFA Effektenfilter (nr 80 – 580 nm, 81 – 630 nm) i Infrarotfolter (nr 83 – 710 nm, 84 – 730 nm, 85 – 800 nm, 587 – 830 nm i 589 – 870 nm). Podobne efekty można uzyskać, jak twierdzi autor, stosując filtry Schotta (nr RD5 – 660 nm, RD8 – 680 nm, RG7 – 850 nm i RU8 – 900 nm), filtry Wrotten (nr 89A – 700 nm, 88 – 720 nm, 88A – 740 nm, 87 – 770 nm i 5233 – 920 nm) i filtry radzieckie (nr KS19 – 690 nm, IKS1 – 800 nm, IKS2 – 880 nm oraz IKS3 – 900 nm).

Również od kilku lat prowadzone są prace na Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie, a następnie w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej Instytutu Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK w Toruniu nad wykorzystaniem kamery CCD do badań obiektów malarstwa w podczerwieni przy użyciu kamery Hamamatsu typ C – 2400 z widikonem N 2400 wyposażona w obiektyw Miro-Nikkor f/55 2,8 z filtrem RG 1000 (Heliopan). Jednakże obraz uzyskiwany jest nie w formie cyfrowej, ale analogowej, wyświetlany na monitorze TV. Dokumentację można prowadzić albo na magnetowidzie lub fotografując na ekranie. Tak uzyskiwane dane nie można przetwarzać wykorzystując techniki komputerowe.

Podsumowując należy stwierdzić, iż zaprezentowane systemy video zostały – po pierwsze – zaadoptowane z innych dziedzin niż ochrona zabytków. Po drugie – przede wszystkim wykorzystywane są do dokumentacji stanu zachowania obiektów ruchomych, polichromowanych. Po trzecie – brak jest podstaw teoretycznych metod diagnostyki zabytkowych obiektów budownictwa i architektury w zakresie widzialnym, a tym samym nie ma badań nad optymalizacją stosowanego sprzętu. Po czwarte – do obserwacji w różnych długościach spektralnych VIS wykorzystuje się kamery zaopatrzone w filtry fizyczne, a nie filtry elektroniczne generowane komputerowo.



Rys. 1-1. Miejsce komputerowej multispektralnej analizy obrazów w paśmie fal elektromagnetycznych

W latach 1991-1994 na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w ramach Grantu Komitetu Badań Naukowych nr 804879101 zapoczątkowano prace nad metodą cyfrowej dokumentacji stanu zachowania obiektów zabytkowych [15]. Efektem tych prac było między innymi ustalenie minimalnego, wymaganego do tego typu prac zestawu sprzętu komputerowego i opracowanie metodyki postępowania w celu uzyskania dobrej jakości wideogramów przy pomocy kamery video i karty „frame grabber”. Uzyskanie odpowiedniej jakości wideogramów jest podstawowym warunkiem dalszej ich analizy pod kątem potrzeb konserwatorskich, np. ustalenie zakresu i rodzaju zniszczeń obiektów, tworzenie schematycznych rysunków dla dokumentowania miejsc pobrania próbek, prowadzonych badań i zabiegów konserwatorskich, komputerowa rekonstrukcja formy i kolorystyki. Prace te kontynuowane są w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków w Toruniu. Poniżej zostaną omówione podstawy technik videograficznych.

2.2. ZAŁOŻENIA MULTISPEKTRALNEJ ANALIZY VIDEOGRAFICZNEJ DLA POTRZEB KONSERWACJI ZABYTKÓW

2.2.1. Model powstawania videoobrazów

Najczęstszym przypadkiem uzyskiwania videoobrazów jest rejestracja trójwymiarowej powierzchni rzeczywistego obiektu, oświetlonego dwoma źródłami światła. Pierwsze źródło światła, to jednokierunkowe światło słoneczne, drugie zaś to światło rozproszone przez niebo. Ten rodzaj źródeł światła będzie dalej nazywany modelem światła naturalnego. Zapisana informacja (V) na videoobrazie określona jest funkcją zależną od następujących parametrów:

$$V = f(x, y, z, j, r, b, s, t, j, l)$$

gdzie:

x, y, z – położenie obiektu w stosunku do kamery;

$j = f_1(l)$ – określa rozkład jasności obiektu;

$r = f_2(l)$ – współczynnik odbicia, charakteryzujący rejestrowany obiekt (zależny od właściwości fizykochemicznych obiektu);

$b = f_3(l)$ – rozkład barwy obiektu;

$s = f_4(l)$ – rozkład czułości detektora użytego do rejestracji;

$t = f_5(l)$ – współczynnik rozkładu przepuszczalności układu optycznego;

$j = f_6(l)$ – długość fali promieniowania elektromagnetycznego wykorzystywanego do badań.

Pierwsze trzy funkcje charakteryzują badany obiekt na videoobrazie, kolejne zaś – układ pomiarowy. Dysponując więc obrazem, konieczne są operacje

odwrotne, w stosunku do tych, jakie powodują jego utworzenie, aby dotrzeć do fizycznych parametrów badanej powierzchni obiektu.

Tego rodzaju retransformacje nie dają jednak, jak już wspomniano, jednoznacznego rozwiązania. Przyczyn tego faktu jest wiele. Dla przykładu, tę samą jasność w obrazie, uzyskuje się dla wielu różnych wartości współczynnika odbicia światła, oświetlenia i zorientowania powierzchni materiału. Nadto wiele obiektów o różnych kształtach i różnym zorientowaniu w przestrzeni daje w wyniku rzutowania perspektywicznego takie samo odwzorowanie dwuwymiarowe na videoobrazie (podobnie jak na zdjęciach fotograficznych).

W związku z powyższym, celem ograniczenia liczby możliwych w tych warunkach przypadków do rozpatrzenia podczas interpretacji videoobrazu badanego obiektu należy przyjąć pewne ograniczenia dotyczące warunków ekspozycji i procesu tworzenia obrazu.

Pierwszym założeniem jest **warunek ciągłości i regularności** badanego obiektu tzn. zakłada się, że powierzchnie badanego obiektu są ciągłe i rzeczywiste. Na przykład nie można interpretować videoobrazów, na których jest wiele cieni, pochodzących od różnych elementów przestrzeni.

Drugie założenie wynika z modelu obrazów B.K.P. Horna. W modelu tym jasność I_j elementu obrazu jest określona następującą zależnością:

$$I_j = (E_r + E_k * \cos j) * r$$

gdzie:

E_r – natężenie światła rozproszonego;

E_k – natężenie światła kierunkowego;

j – kąt między kierunkiem padania światła kierunkowego a wektorem \mathbf{n} normalnym do powierzchni badanego obiektu;

r – współczynnik odbicia światła od elementu badanego obiektu.

W modelu tym występują dwa źródła światła: jedno – kierunkowe imitujące oświetlenie słoneczne, drugie – niekierunkowane imitujące oświetlenie światłem rozproszonym przez niebo. Ponadto w takim modelu zakłada się, że oświetlane powierzchnie są typu lambertowskiego (spełniające prawa Lamberta Beera) tzn. spełniają warunek ciągłości, czyli rozpraszają światło jednakowo we wszystkich kierunkach, nie dając refleksów świetlnych. W tym modelu wartość jasności danego punktu może być wynikiem współdziałania kilku czynników. Tak więc zmiany jasności mogą mieć różną interpretację. Mogą w rzeczywistości odpowiadać nie tylko za zmiany właściwości fizykochemicznych materiałów, ale za zmiany w oświetleniu, zmianę w zorientowaniu kamery w stosunku do źródeł światła dającego oświetlenie kierunkowe.

Można tu sformułować drugie założenie: **obiekt musi być oświetlany ciągłym i niezmiennym oświetleniem** i być tak samo zorientowany w stosunku do kamery i źródła światła kierunkowego, ażeby była możliwa analiza porównawcza dwóch lub więcej videoobrazów tego samego obiektu.

Z powyższych rozważań wynikają określone praktyczne wnioski:

– należało opracować procedurę pomiarową polegającą na standaryzacji aparatury, a przede wszystkim dokonać standaryzacji nastaw balansu bieli kamery (w bardziej zaawansowanych technologicznie – także balansu czerni) w oparciu o standardowy wzorzec bieli, standaryzacji nastawy jasności monitorowej w oparciu o odpowiednio napisany program np. MONITOR i standaryzacji pracy karty „frame grabber” w oparciu o standardowy program serwisowy danej karty tak, aby wartości tych wielkości były powtarzalne przynajmniej dla danej serii pomiarowej;

– należy zapewnić jakościową i ilościową standaryzję natężenie oświetlenia obiektów badanych.

W pomiarach barwometrycznych wzorcem bieli jest prasowany czysty spektralnie baryt lub tlenek magnezu [16]. Prasowane wzorce z wymienionych substancji są mało praktyczne, przede wszystkim ze względu na małą ich trwałość oraz wysoki koszt uzyskania dużej powierzchni białej, koniecznej do ustalenia balansu bieli kamery. Problem ten rozwiązano w sposób następujący. Na papier czerpany biały naniesiono dwukrotnie farbę białą o dużej białości i jasności oraz w małym stopniu zażółcenia o dużej odporności na starzenie się. Po przeanalizowaniu wyników badań opartych na badaniach przy pomocy spektrofotometru SPEKOL, zawartych w pracy J. Ciabacha [17], 19 typów dostępnych artystycznych białych farb wybrano farbę akrylową białą tzw. Rembrandt acrylic colour titanium white o następujących parametrach optycznych: jasność = 9.72, białość = 1.40, stopień zażółcenia = 2.08 (maksymalne wartości tych parametrów dla światła białego idealnego o składowych trójchromatycznych $X = 0.9807$, $Y = 1,0000$, $Z = 1.1823$, dla którego współczynnik luminancji równy jest 1, mamy maksymalną białość = 1.55, maksymalną jasność = 10, minimalny stopień zażółcenia = 0).

Jak już wspomniano, w modelu powstawania obrazów B.K.P. Horna wyróżnia się dwa rodzaje światła oświetlającego powierzchnię obiektu: pierwsze to kierunkowe światło słoneczne i drugie niekierunkowe światło rozproszone przez niebo.

Kierunkowe światło słoneczne

Naturalnym kierunkowym źródłem promieniowania elektromagnetycznego, które można wykorzystać do oświetlenia obiektów budownictwa i architektury jest Słońce. Widmo promieniowania słonecznego z dobrym przybliżeniem można przedstawić w postaci widma ciała doskonale czarnego o temperaturze ok. 6000K (temperatura wyliczona teoretycznie z prawa Stefana-Boltzmana jest jednak doświadczalnie dobrana dla potrzeb kolorimetrii i wynosi 4874K – tzw. wzorzec źródła światła B). Maksimum natężenia takiego promieniowania przypada na długość fali λ_{\max} ok. 490nm. Promieniowanie nadfioletowe o dłu-

gości poniżej 300nm jest prawie całkowicie pochłaniane przez tlen i ozon z atmosfery. Silne pochłanianie przez atmosferę, występuje także w zakresie podczerwieni z wyłączeniem tzw. okien o długości fali około 1200, 1600, 2200, 3800 i 4900 nm. W związku z powyższym właściwie dobrana kamera video, do badań obiektów przy korzystaniu z oświetlenia naturalnego, powinna przenosić zakres spektralny 300-900nm z maksimum w 490nm (barwa niebieska z odcieniem zieleni). Jest to więc pełen zakres widzialny (380-780nm) uzupełniony o zakres bliskiej podczerwieni (zakres 780-900nm) i bliskiego ultrafioletu (zakres 300-380nm). Jednak kierunkowe światło słoneczne nie jest światłem ciągłym w czasie całego dnia. Wynika to z faktu wyeliminowania przez atmosferę składowej fioletowej i niebieskiej (zakres ok. 380-470nm) lub wydłużenia drogi jaką światło słoneczne przechodzi wieczorem, co powoduje eliminację składowej zielonej i żółtej (zakres ok. 470-580nm).

Niekierunkowe światło rozproszone

W atmosferze naturalne światło słoneczne – tzw. światło błękitu nieba, ulega rozproszeniu oraz odbiciu od cząstek o rozmiarach większych od długości fali światła. Można udowodnić, że najsilniej jest rozpraszane światło o małej długości fali. Błękit nieba, to właśnie barwa promieniowania najsilniej rozpraszanego w atmosferze (niebo widziane ponad atmosferą jest czarne). Światło rozproszone oświetla jednakowo powierzchnie obiektu. Natomiast światło kierunkowe oświetla maksymalnie powierzchnie prostopadłe do kierunku padania światła. To oświetlenie maleje ze wzrostem kąta między kierunkiem maksymalnego oświetlenia, a normalną do powierzchni według funkcji cosinus tego kąta tak, że powierzchnie równoległe do kierunku oświetlenia nie są już oświetlane. Oświetlenie wypadkowe jest sumą oświetleń ze wszystkich źródeł światła.

Z powyższego jawią się do rozwiązania dwa problemy praktyczne [18,19,20]:

Po pierwsze: jaki typ źródła światła (światła według Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej – CIE typu A, B, C) przyjąć do obliczeń parametrów barwy videoobrazu, w układzie CIE bodźców odniesienia (X,Y,Z) dla światła naturalnego;

Po drugie: jak ocenić dla potrzeb np. monitoringu obiektów, czy w dwóch różnych videoobrazach natężenie światła naturalnego oświetlającego, badany obiekt jest identyczne.

Podstawowym celem tego etapu badań było więc wyznaczenie warunków pozyskiwania videoobrazów o dużej zawartości informacyjnej (tzw. wielowartościowych) oraz opracowanie metodyki pomiarowej, podstawowych parametrów barwy w koloro-metrycznym układzie bodźców odniesienia XYZ. Układ XYZ, jest układem wygodnym w stosowaniu praktycznym, i w dużym stopniu przybliża wartościowo wrażenia człowieka. Ponadto na tym układzie oparta

jest barwometria klasyczna oraz szereg norm określających procedury oceny ilościowej różnych właściwości materiałów (zob. cytowana w przypisach), a więc i z tego względu najkorzystniej było dowiązać się metodą multispektralnej analizy

Problem oceny natężenia oświetlenia obiektu badanego oparto przedstawione poniżej. Jeżeli za j dla obiektu rzeczywistego podstawimy wartość M obliczoną z wzoru powyżej, a za r obliczoną wartość współczynnika odbicia, to dla videoobrazu wzór można zapisać w następujący sposób:

$$I_M = K * (E_r + E_k * \cos j) * r$$

gdzie: K – współczynnik proporcjonalności

Ponieważ praktycznie nie mierzymy wartości $(E_r + E_k * \cos j)$, więc wartość tą możemy obliczyć, na podstawie obliczonej wartości jasności monitorowej według wzoru i wartości współczynnika odbicia światła obliczonej przy pomocy specjalnie napisanego programu GRASMAN v. 5.01, w oparciu o pomierzone składowe monitorowe R, G, B [18]. Dzieląc stronami zależność przez r otrzymujemy wzór na interesującą nas wielkość.

$$K * (E_r + E_k * \cos j) = I_M / r$$

Na podstawie powyższego można sformułować warunek porównywalności dwóch videoobrazów:

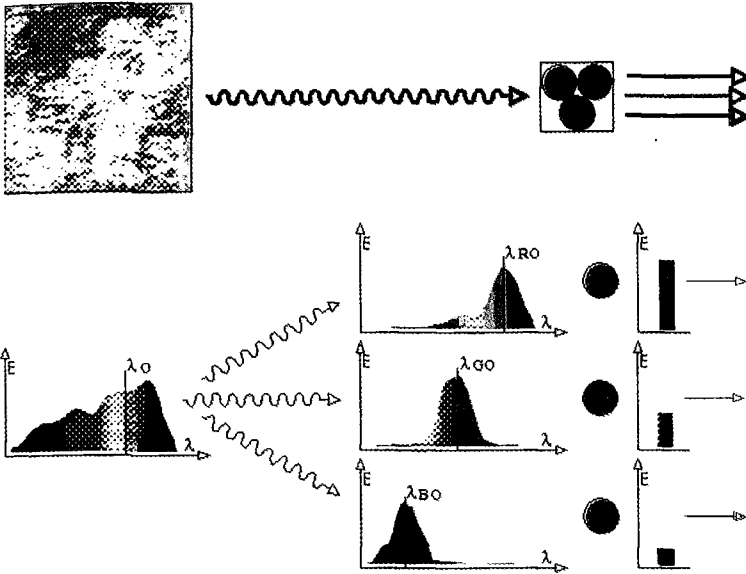
dane obrazowe zawarte na dwóch videoobrazach można porównywać w wypadku identyczności stosunku jasności monitorowej do współczynnika odbicia światła.

Aby udokładnić pomiary monochromatycznych współczynników luminacji dla R, G, B , należy wykonać natępujące pomiary. Wczytać kamerą wzorzec bieli oświetlony identycznym światłem, jak videoobraz obiektu badanego. Następnie pomierzyć wielkości R, G, B dla videoobrazu i podzielić przez odpowiednie im wielkości pomierzone dla wzorca bieli. Uzyskane wartości wykorzystać należy do obliczeń parametrów barwy programem GRASMAN. Sprawdzenia parametrów oświetlenia należy dokonać obliczając stosunek I_M / r .

Badania dotyczące wyżej wymienionych problemów są kontynuowane.

Na rysunkach 1-4 i 1-5 pokazano bardziej dokładnie cały tor transformacji informacji, związany z jednym elementem światłoczułym obiektywu kamery. Na obu rysunkach przedstawiony jest schemat fizyczny toru (u góry rysunku) i odpowiadający mu schemat energetyczny toru (na dole rysunku).

Pierwsza część toru (rys. 1-4) składa się z fragmentu filmowanego obiektu i wyznaczającego go, elementu światłoczułego obiektywu kamery. Bodziec świetlny, odbierany przez element obiektywu, posiada charakterystyczne dla siebie widmo energetyczne.



Rys. 1-4. Tor informacyjny obiekt-kamera

Jedną z cech takiego widma, którą łatwo wyznaczyć na drodze pomiarów laboratoryjnych, jest długość fali dominującej. Dla widma obrazu obiektu została ona oznaczona jako λ_o . Długość fali dominującej jest to długość bodźca monochromatycznego (na wykresie przedstawianego w postaci pojedynczego prążka), o określonej energii, który daje wrażenie barwy możliwie bliskie temu co całe widmo. Ponieważ nie może to być dokładnie takie samo wrażenie, więc dodatkowo określa się zawsze tzw. czystość pobudzenia, czyli liczbowo wyrażoną różnicę wrażeń barwy.

Każdy element światłoczuły obiektywu kamery składa się w rzeczywistości z trzech prostych elementów światłoczułych, oznaczanych literami R, G, B, co odpowiada angielskim nazwom barwy czerwonej, zielonej i niebieskiej. Każdy z tych elementów posiada inną, właściwą dla siebie, charakterystykę widmową, zgodnie z którą pochłania energię bodźca świetlnego i zamienia ją na impuls napięcia. Elementy R, G, B są filtrami wąskopasmowymi, z maksymalną sprawnością przetwarzania energii bodźca świetlnego o długości odpowiednio λ_{RO} , λ_{GO} i λ_{BO} . Im pasmo filtru jest węższe, a zbocza jego charakterystyki bardziej strome, tym dobroć i sprawność filtru jest większa. W sytuacji idealnej, każdy filtr R, G, B pochłaniałby i przetwarzał wyłącznie energię bodźca monochromatycznego o długości równej λ_{RO} , λ_{GO} i λ_{BO} . W rzeczywistości filtry R, G, B pochłaniają i przetwarzają, z różną sprawnością, wszystkie bodźce o długościach mieszczących się w paśmie filtrowania. Generowany impuls napięcia odpowiada więc pasmu filtrowania, a nie tylko jednej długości charakterystycznej filtru.

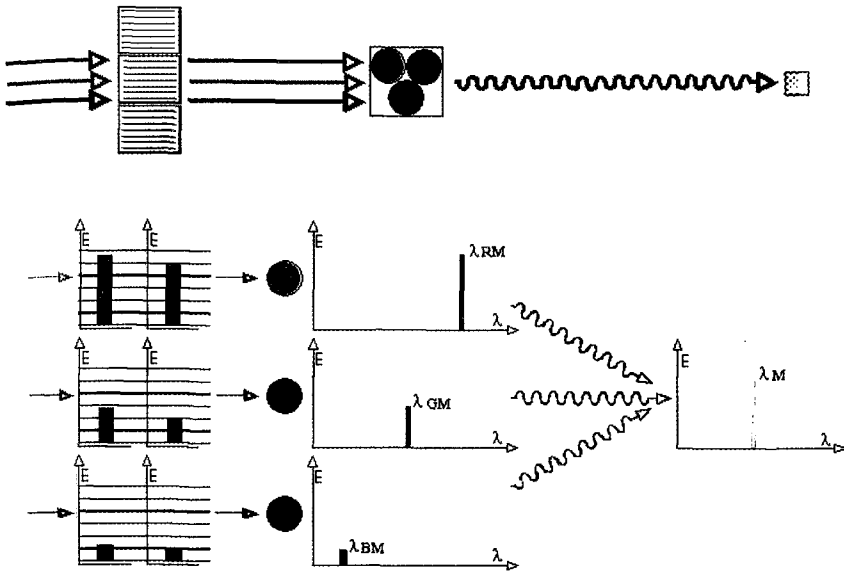
Wynika z tego, że nie ma możliwości odróżnienia, czy dany impuls napięcia został spowodowany przez bodziec o tym lub innym widmie energetycznym, czy np. przez bodziec monochromatyczny. Konsekwencją tego stanu rzeczy jest, że informacja o barwie obiektu jest niejednoznaczna, tzn. barwa zakodowana w postaci impulsów napięciowych R, G, B może odpowiadać wielu różnym barwom obiektu. Im dobroć filtrów R, G, B jest większa, czyli im pasmo filtrowania jest mniejsze, tym ta niejednoznaczność jest mniejsza.

Podstawy teoretyczne dla przedstawionej wyżej metody kodowania barwy stwarzają prawa Grassmanna. Zgodnie z nimi, każda barwa jest mieszaniną trzech barw bazowych, o ile są one niezależne liniowo tzn. żadnej z barw bazowych nie można uzyskać przez zmieszanie dwóch pozostałych oraz istnieje nieskończenie wiele układów barw bazowych. Z praw Grassmanna wynika uzasadnienie opisanego procesu transformacji informacji o barwie, jeżeli tylko barwy odpowiadające filtrom R, G, B obiektywu kamery (tzn. barwy o długościach l_{R_0} , l_{G_0} i l_{B_0}) spełniają warunek liniowej niezależności. Wynika stąd, że zmieszanie trzech barw monochromatycznych o długościach l_{R_0} , l_{G_0} , l_{B_0} i energii odpowiadającej powstałym impulsom napięciowym powinno dać barwę monochromatyczną o długości l_0 i właściwej energii.

Powstałe w kamerze trzy sygnały napięciowe R, G, B są sygnałami analogowymi tzn. ich wartości mogą zmieniać się w sposób ciągły. Aby informacja zawarta w sygnałach R, G, B nadawała się do przetwarzania w komputerze, musi mieć ona postać cyfrową, tzn. wartości sygnałów mogą się tylko zmieniać skokowo w określonym zakresie. Za transformację sygnałów R, G, B z postaci analogowej na cyfrową odpowiedzialna jest karta video (frame grabber). Korzystniej jest obecnie wykorzystywać aparaty lub kamery cyfrowe o dużych rozdzielczościach, gdzie nie zachodzi konieczność przetwarzania obrazu przy pomocy karty z postaci analogowej na cyfrową, a więc bez zniekształceń towarzyszącym temu procesowi. Jednakże sprzęt cyfrowy, dorównujący rozdzielczością kamerom analogowym, jest jeszcze dzisiaj kilkakrotnie droższy od typowych analogowych kamer CCD.

Druga część toru (rys. 1-5) składa się z karty video i monitora komputera. Pominięto tutaj pozostałe elementy komputera, biorące udział we wczytywaniu, zapamiętywaniu, przetwarzaniu i wyświetlaniu informacji obrazowej, jako nieistotne dla samej metody.

Wartości przychodzących sygnałów analogowych R, G, B podlegają skwantowaniu przez kartę video. W zależności od liczby poziomów kwantowania K, wartości analogowej może zostać przypisana liczba całkowita z przedziału 0 do K-1, tzn. jedna z K możliwych liczb. Liczba poziomów kwantowania, nazywana dalej głębokością barwy, dla sygnałów R, G, B może być różna. Dlatego celem jest wprowadzenie oznaczeń K_R , K_G i K_B (palaeta barw R, G, B). Z jednej strony, w zależności od liczby poziomów K, w komputerze może zostać zapisana informacja o K barwach posiadających tą samą długość l i różniących się



Rys. 1-5. Tor informacyjny karta video – monitor

tylko energią (jest to ta sama barwa o różnej jasności). Z drugiej strony, liczba wszystkich barw jakie można zapisać w komputerze wynosi $K_R \times K_G \times K_B$. Z powyższego wynika, że na skutek zamiany sygnału analogowego na cyfrowy, barwom, których wartości analogowe R, G, B mieszczą się pomiędzy dwoma poziomami kwantowania, zostają przypisane takie same wartości cyfrowe R, G, B, odpowiadające niższemu poziomowi kwantowania. Opisana transformacja nie jest więc jednoznaczna – wielu kombinacjom wartości sygnałów analogowych R, G, B przypisywana jest jedna, ta sama kombinacja sygnałów cyfrowych R, G, B. W ten sposób, nieskończona liczba barw zostaje zredukowana do ograniczonej iloczynem $K_R \times K_G \times K_B$ liczby barw, które mogą być wczytane do komputera, a następnie przetworzone i wyświetlone na ekranie monitora. Im większą głębokość barw R, G, B zapewnia karta video, tym spektrum uzyskiwanych barw jest większe. Dlatego też nie można do analizy barwy obiektów wykorzystać komputerowych składowych RGB, a jedynie w odpowiedni sposób przetworzyć, aby uzyskać jednoznacznie zdefiniowane parametry barwy.

Drugi generalny wniosek jaki wypływa z powyższych rozważań jest taki. Elementem układu kamera-komputer, który w równie decydujący sposób jak obiektyw kamery wpływa na jakość uzyskiwanych obrazów, jest karta video, a dokładniej parametr zwany paletą barw R, G, B.

Efektom przeprowadzonych transformacji jest wyświetlany na monitorze komputera monochromatyczny punkt odpowiadający, wyznaczonemu przez element obiektywu kamery, fragmentowi filmowanego obiektu. Źródłem

światła emitowanego przez każdy punkt monitora jest układ trzech prostych elementów emisyjnych oznaczanych, podobnie jak w przypadku obiektywu kamery, literami R, G, B. Każdy z tych elementów posiada inną, właściwą dla siebie, charakterystykę widmową. Pobudzony impulsem napięciowym emituje bodziec świetlny o odpowiadającej pobudzeniu energii i zgodny ze swoją charakterystyką widmową. Charakterystyki widmowe mają postać wąskopasmowych filtrów, z maksymalną sprawnością przetwarzania energii na bodziec świetlny o długości odpowiednio l_{RM} , l_{GM} , l_{BM} . Im pasmo filtra jest węższe, a zbocza jego charakterystyki bardziej strome, tym dobroć i sprawność emitera jest większa. Można w uproszczeniu przyjąć, że charakterystyki widmowe elementów emisyjnych R, G, B mają postać pojedynczych prążków o długościach odpowiednio l_{RM} , l_{GM} , l_{BM} i tej samej wysokości tzn. sprawności zamiany energii pobudzenia napięciowego w energię bodźca świetlnego. Przy tych samych więc pobudzeniach emitują monochromatyczne bodźce świetlne o takiej samej energii, co zapewnia wierność odtworzenia informacji zawartej w sygnałach cyfrowych R, G, B.

Proces transformacji na ekranie monitora jest w pełni analogiczny do procesu transformacji w obiektywie kamery tyle, że przebiega dokładnie w odwrotnym kierunku. Także tutaj zasadność takiego postępowania oparta jest o prawa Grassmanna. Zgodnie z nimi, każdą barwę można uzyskać przez zmieszanie trzech barw bazowych liniowo niezależnych. Jeżeli barwy odpowiadające emitorem R, G, B monitora komputera (tzn. barwy o długościach l_{RM} , l_{GM} , l_{BM}) spełniają warunek liniowej niezależności, to bodziec świetlny stanowiący ich mieszaninę, równoważny bodźcowi monochromatycznemu o długości l_M i odpowiedniej energii, będzie dobrym odwzorowaniem informacji zawartej w cyfrowych sygnałach pobudzenia R, G, B.

W sytuacji idealnej, gdy charakterystyki widmowe elementów R, G, B mają postać pojedynczych prążków o tej samej wysokości energetycznej, długości l tych prążków są takie same i spełniają warunek liniowej niezależności, a liczba poziomów kwantowania jest dostatecznie duża, bodźce świetlne odbierane przez kamerę i emitowane przez ekran monitora będą takie same tzn. będą posiadały tą samą energię i tą samą długość ($l_0=l_M$), a więc tą samą barwę.

W tym miejscu, biorąc pod uwagę powyższe należy się zastanowić jakie wielkości mierzalne mamy do dyspozycji w videoobrazie.

2.2.2. Wielkości mierzalne videoobrazu

Informacje podstawowe

Przy pomocy zestawu aparaturowego – kamera video – karta video (frame grabber) – komputer, otrzymuje się videoobrazy binarne i wielowartościowe, odwzorowujące obrazy rzeczywiste. Videoobraz binarny to taki, w którym wy-

stępują tylko dwie wartości jasności punktów – biały i czarny (0 lub 1). Obraz taki ma małą przydatność informacyjną dla celów analizy obrazu, gdyż pozwala ocenić jedynie obrys obiektu.

Videoobraz wielowartościowy jest więc obrazem o dużej zawartości informacyjnej. Zależy on przede wszystkim od jakości przetwornika A/D karty „frame grabber”. Rys. 3-4 ilustruje videoobrazy wprowadzone przy pomocy przetworników A/D 4-, 8- i 16-bitowych. Dalej tego rodzaju barwne videoobrazy będziemy nazywali 4-, 8- i 16-bit kolor.

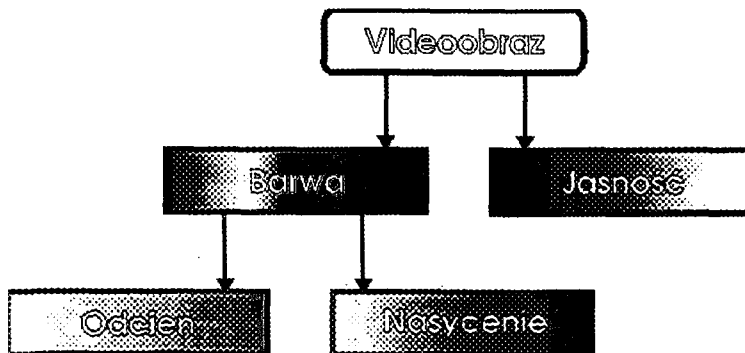
Jak pokazano przykładowo na rys. 3-4 największą zawartość informacyjną przedstawia videoobraz 16-bitowy. Ten obraz już nadaje się do analizy dla potrzeb diagnostyki konserwatorskiej. Najkorzystniej, jak to pokazano w końcowej części pracy, analizę tą prowadzić należy na obrazach conajmniej 24-bitowych (po 8 bitów na każdą ze składowych RGB).



Rys. 3-4. Ilustracja zawartości informacyjnych videoobrazów 4, 8 i 16 bit kolor

Należy się w tym miejscu zastanowić nad informacją jaką niesie każdy videoobraz.

Schemat na rys. 3-5 pokazuje zawartość informacyjną videoobrazu wielowartościowego, odwzorowującego cechy powierzchni badanego obiektu.



Rys. 3-5. Schemat zawartości informacyjnej videoobrazu

Różne barwy można uzyskać poprzez mieszanie światła (barw) podstawowych – jest to tzw. addytywna synteza barw. Jak wiadomo, addytywna synteza barw stosowana jest w metodach telewizji barwnej, ale stanowi również podstawę układów kolorymetrycznych do pomiarów różnych właściwości optycznych materiałów. Światła podstawowe (inaczej barwy lub bodźce podstawowe), to tak dobrane bodźce świetlne, aby można było uzyskać znaczną część wszystkich możliwych w przyrodzie barw.

Również układy w kolorymetrii, dziedziny nauki powołanej do obiektywnego określenia i mierzenia wielkości parametrów barwy, oparte są na addytywnej syntezie bodźców barwowych, a także na możliwości odtwarzania wielu barw przez mieszanie tylko trzech podstawowych barw. Wzajemne zależności opisują trzy prawa addytywności barw przywołane już wyżej, sformułowane przez Grassmanna w 1853r. Pozwolę sobie je tu zacytować.

I p r a w o Grassmanna. Istnieje nieograniczona ilość układów trzech barw liniowo niezależnych, natomiast cztery dowolne barwy są we wzajemnej zależności liniowej.

II p r a w o Grassmanna. Jeżeli w mieszaninie dwóch barw jeden ze składników jest utrzymywany bez zmian, a drugi jest poddawany ciągłej zmianie, to barwa mieszaniny zmienia się w sposób ciągły.

III p r a w o Grassmanna. Światła o tej samej barwie dają w mieszaninach z innymi identyczny wynik, bez względu na ich rozkład widmowy.

W oparciu o te prawa zdefiniowano szereg układów kolorymetrycznych. Najpowszechniej znane to tzw. układ CIE bodźców podstawowych (RGB) oraz tzw. układ odniesienia (X,Y,Z).

Najlepiej zdefiniowanymi i nasyconymi barwami są barwy światła monochromatycznych. Przyjęte przez CIE trzy podstawowe barwy (porównawcze, światła monochromatyczne) to: (R) = 700,0 nm, l(G) = 546.1 nm, l(l) = 435,8 nm. Bodźce te są tak dobrane, by miały swój odpowiednik w rzeczywistości.

Na podstawie praw Grassmanna równanie dowolnego bodźca świetlnego (K) w układzie (RGB) przyjmie postać:

$$(K) = r(R) + g(G) + b(B)$$

System CIE wyrażania barw, ze względu na przyjęte uproszczenia, ma swoje wady, polegające na tym, iż odtworzenie na podstawie danych liczbowych niektórych barw wg nie zawsze odzwierciedla ich rzeczywisty odcień. Fakt ten ma znaczenie w badaniach barwometrycznych. Ostatnio powstało wiele nowych systemów zmierzających do rozwiązania tego problemu, m.in. popularny dzisiaj układ CIELab lub w poligrafii CMYK. Układy te powstały w oparciu o przekształcenie CIE bodźców podstawowych.

Jasność videoobrazu obiektu

Na podstawie badań kolorymetrycznych wyznaczono współczynniki r , g , b w równaniu (5) i otrzymano równanie jednostki fotometrycznej bieli ekwienergetycznej:

$$(I_E) = 0.177 (R) + 0.812 (G) + 0.011 (B)$$

Tak więc wyznaczając kolorymetrycznie wielkości R , G , B można na podstawie równania (6) wyliczyć jasność powierzchni obiektu.

Okazało się jednak, że ze względów technicznych powyższe współczynniki r , g , b , wyznaczone metodami klasycznej kolorymetrii nie oddają na monitorze komputerowym w sposób prawidłowy jasności. Wyznaczając wielkości R , G , B na videoobrazie, wyświetlanym na ekranie monitora, i podstawiając do wzoru opisanego wyżej nie uzyskuje się prawidłowej oceny jasności badanego obiektu. Tak więc, dla prawidłowego odwzorowania jasności na ekranie monitora zaszła konieczność wyznaczenia doświadczalnie nowych współczynników r , g , b , uwzględniających własności zastosowanych luminoforów. Wówczas równanie tzw. jasności monitorowej badanego obiektu przyjmie postać:

$$(M) = 0.30 (R) + 0.59 (G) + 0.11 (B)$$

Przy 8 bitowym kolorze na każdą ze składowych (R, G, B) jasność monitorowa danego punktu videoobrazu dana będzie w zakresie 0-255. Dzieląc więc każdą otrzymaną wartość składowej (R, G, B), w skali od 0-255, przez liczbę 255 i podstawiając do wzoru otrzymamy tzw. współczynnik jasności oznaczany dalej W_M (tzw. videoton).

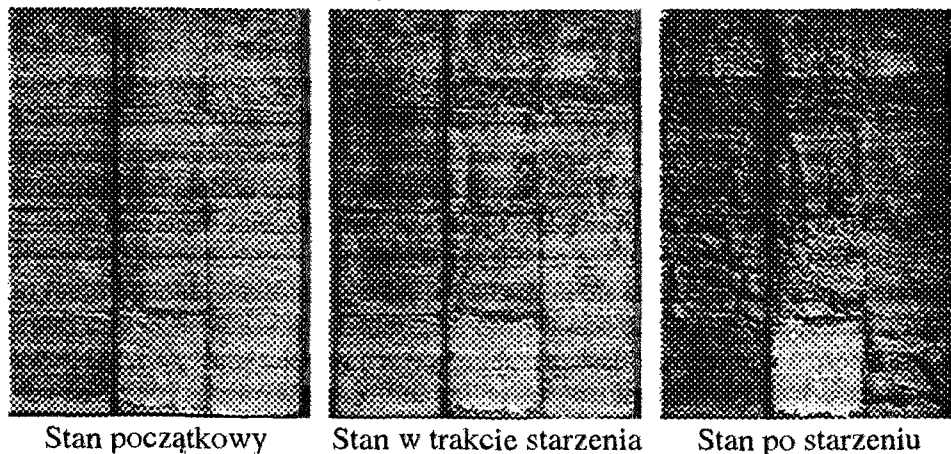
Na podstawie badań własnych współczynników jasności różnych materiałów stwierdzono następujące fakty:

- wiele różnych materiałów może mieć ten sam videoton (np. wapień pińczowski i pobiała wapienna, kreda malarska),
- na videoton tych samych materiałów wpływ mają nawet nieznaczne ilości dodatków oraz sposób przygotowania podłoża.

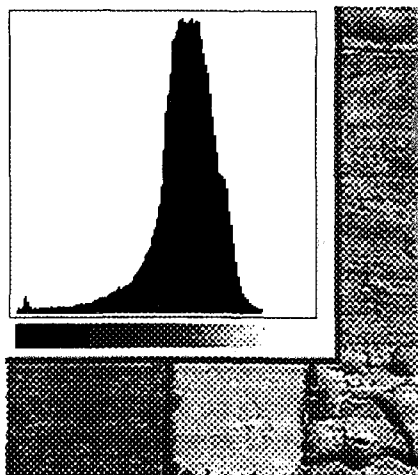
Można wyprowadzić wniosek, że parametr jasności nie może być jedynym parametrem oceny właściwości optycznych materiałów budowlanych.

Tak więc, na podstawie powyższych stwierdzeń, wydawać by się mogło, że parametr jasności nie ma znaczenia ilościowego, koniecznego do interpretacji videoobrazów dla potrzeb diagnostycznych. Wielkość tę można jednak wykorzystać do śledzenia, pod wpływem różnych czynników, zmian jakości powierzchni w czasie. Wykorzystano ten fakt do badań przyspieszonego niszczenia, przy pomocy 10% roztworu siarczanu sodu (tzw. test krystalizacyjny), próbek pobiał o zmiennym składzie. Wybór właśnie tego materiału pokryciowego do badań podyktowany był tym, iż zmiana początkowych właściwości optycznych po dodaniu różnych dodatków jest nieznaczna (dodane jasności). Zastosowano

odpowiednio dobrane narzędzia programowe do określenia zmian jakości powierzchni badanych próbek. Procesy monitorowano w czasie. Jeszcze na długo przed dużymi zmianami makroskopowymi powierzchni próbek dzięki analizie komputerowej ujawnio początek zmian. Ilustrację funkcjonowania niektórych z tych narzędzi pokazano na rysunku 3.8 i 3.9.



Rys. 3.7. Przykład badania zmian powierzchni pobiał modyfikowanych różnymi substancjami

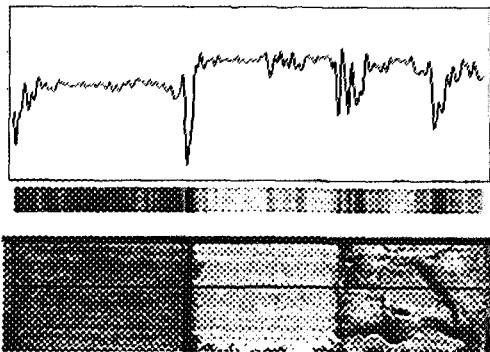


Rys. 3-8. Przykład histogramu jasności

Rysunek 3-8 obrazuje przykładowy histogram jasności. Wyrażenie prezentowane wyżej określa liczbowo uśrednioną jasność otoczenia punktu pomiarowego. W celu dokładniejszej charakterystyki jasności otoczenia tego punktu łatwiej analizować histogramy jasności. Histogram jasności jest to jednowymiarowa tablica o liczbie elementów równej maksymalnej liczbie poziomów jasności. Wartość każdego elementu histogramu jest równa liczbie punktów obrazu o jasności równej numerowi tego elementu. Pierwszy element histogramu ma numer 0, czyli odpowiada wartości 0, a ostatni 255 co odpowiada maksymalnej wartości jasności 255. Jeżeli

w obrazie nie występują punkty o pewnej jasności, to odpowiadający jej element histogramu ma wartość 0. Histogram można przedstawić w postaci graficznej, odwzorowując kolejne elementy w równoległe narysowane obok siebie

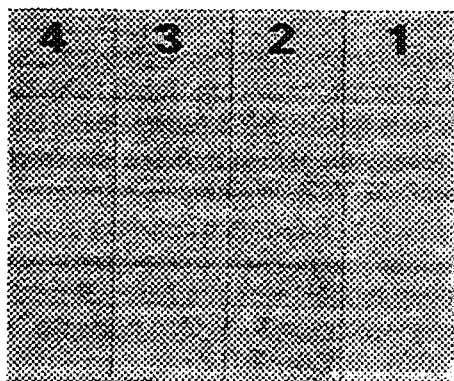
słupki o wysokościach odpowiadających wartościom elementów, przez wykreślenie obwiedni łączącej wierzchołki tych słupków. Wykorzystywany w pomiarach program PLUSKWA 5.0 potrafi obliczać histogramy jasności po wskazanych liniach, co znakomicie ułatwia wydzielenie obszarów o zróżnicowanej jasności ułatwiając tym samym interpretację videoobrazu.



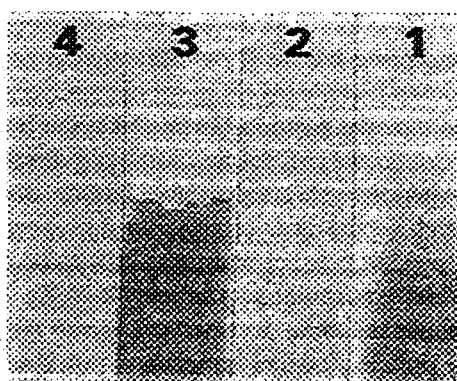
Rys. 3-9. Przykład videogramu badanej powierzchni

Ponadto dla ucytelnienia zmian tekstury powierzchni w obrębie jednego videoobrazu można dokonać analizy jasności na wybranych kierunkach. Dzięki temu uzyskamy videogram odwzorowujący zróżnicowanie tekstury powierzchni. Również przedstawiając go w formie krzywej, można precyzyjnie określać te zmiany. Na rys. 3-9 przedstawiono przykład videogramu wraz z kierunkiem analizy na badanej powierzchni próbek pobiał.

Innym przykładem zastosowania videoanalizy było zbadanie wytypowanych środków konserwatorskich na podciąganie wody w wapieniu z Pińczowa (ryc. 3-10).



Stan przed nasyceniem wodą



Stan w trakcie nasycania wodą

Ryc. 3-10. Wływ rodzaju impregnatu na podciąganie wody przez kamień.

- 1- próbka kontroln
- 2- preparat Steinfestiger – H
- 3- preparaat Steinfestiger OH
- 4- 10 %-owy roztwór Paraloidu B-72

Ponieważ często preparat Steifestiger OH używany jest do wzmacniania powierzchni kamieni, celowym było określenie wpływu tego preparatu na przebieg procesu podciągania wody w kamieniu, w porównaniu z innymi preparatami. Badania prowadzono nasycając wapien następującymi preparatami: Steifestiger H (nr 2 rycina), Steifestiger OH (nr 3) oraz 10-procentowy toluenowy roztwór Paraloidu B-72. Na rycinie 3-10 pokazano stan kamienia przed i po badaniu. Stwierdzono, że Steifestiger OH w znaczny sposób wpływa na zwiększenie podciągania wody w wapieniu, o czy świadczy zróżnicowanie w jasności partii nasyconej (ozn. 3.) i nienasyconej (ozn. 1). Inne badane preparaty, zgodnie z oczekiwaniem spowodowały ograniczenie w przepływie wody podciąganej kapilarnie. W związku z powyższym preparat Steifestiger OH nie należy stosować do końcowego zabezpieczania obiektów, które są wystawione na działania wody i agresywnych atmosferycznych środowisk korozyjnych.

Pokazane przykłady zastosowania videoanalizy ujawniają duże możliwości wykorzystania jej do badań laboratoryjnych, m.in. zmian destrukcyjnych, ich zakresu, wpływu różnych czynników na jakość powierzchni itp.

Chromatyczność videoobrazu obiektu

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest przedstawienie możliwości odwzorowania komputerowego modelu barw RGB, na fizyczny model barw $E=f()$, a mówiąc dokładniej, możliwości przyporządkowania punktom w ograniczonej i skwantowanej przestrzeni RGB takich wielkości fizycznych, jak długość fali dominującej, czystość pobudzenia i luminancja.

Zgodnie z prawami Grassmanna, każdemu bodźcowi świetlnemu można przypisać barwę B, wynikającą ze zmieszania trzech dowolnie wybranych, liniowo niezależnych, monochromatycznych bodźców bazowych. Jeżeli za bodźce bazowe zostaną obrane fikcyjne bodźce układu CIE XYZ (normalnego lub dodatkowego), to przyjmuje się dla nich oznaczenia BX, BY, BZ, a dla ilości w jakiej występują w danej barwie oznaczenia X, Y, Z. W układzie współrzędnych wyznaczonych przez bodźce bazowe BX, BY, BZ, barwę B można przedstawić w postaci wektora, którego początek leży w punkcie o współrzędnych (0,0,0), a koniec w punkcie (X,Y,Z). Za miarę modułu wektora barwy **B** przyjmuje się sumę arytmetyczną miar wektorów bazowych **X**, **Y**, **Z**, o początkach w punkcie (0,0,0) i końcach w punktach (X,0,0), (0,Y,0), (0,0,Z).

$$\mathbf{B} = \mathbf{X} + \mathbf{Y} + \mathbf{Z}$$

$$B = |\mathbf{B}| = |\mathbf{X}| + |\mathbf{Y}| + |\mathbf{Z}| = X + Y + Z$$

Jednostki ilości bodźców bazowych definiuje się jako stosunki luminancji bodźców bazowych w mieszaninie odtwarzającej badaną barwę B do luminancji bodźców bazowych w mieszaninie odtwarzającej barwę białą E (przez barwę białą E rozumie się barwę teoretycznego bodźca świetlnego posiadającego równoenergetyczną charakterystykę widmową $E=\text{const.}$). Oznacza to, że daną

barwę w ilości B, daje mieszanina barw bazowych w ilościach X, Y, Z, które noszą nazwę składowych trójkromatycznych:

$$X = \frac{LBx}{LEx} \quad Y = \frac{LBy}{LEy} \quad Z = \frac{LBz}{LEz}$$

zaś jednostkową ilość barwy B można otrzymać przez zmieszanie barw bazowych w ilościach x, y, z, które noszą nazwę współrzędnych trójkromatycznych:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1-x-y$$

Współrzędne trójkromatyczne można zawsze wyliczyć na podstawie składowych trójkromatycznych, natomiast obliczenia odwrotne są już niemożliwe bez znajomości co najmniej jednej składowej trójkromatycznej. Jeżeli znana jest np. składowa Z, to pozostałe można wyliczyć ze wzorów:

$$X = \frac{x * Z}{z} \quad Y = \frac{y * Z}{z} \quad \text{ponieważ} \quad X + Y + Z = \frac{Z}{z}$$

Jak wynika z powyższych rozważań, końce wektorów wszystkich barw w ilościach jednostkowych, leżą na płaszczyźnie o równaniu $x+y+z=1$, noszącej nazwę płaszczyzny barw. Przestrzeń w układzie CIE XYZ, o nieujemnych wartościach składowych X, Y, Z, nazywa się przestrzenią barw.

Jednocześnie każdy bodziec świetlny można opisać za pomocą jego energetycznej charakterystyki widmowej $EB=M$ (Każdą monochromatyczną składową widmową $M()$ badanego bodźca świetlnego, podobnie jak sam bodziec, można potraktować jako mieszaninę bodźców bazowych BX, BY, BZ, w ilościach $X(l)$, $Y(l)$, $Z(l)$). Z zasad rachunku kolorymetrycznego wynika, że wektor B barwy bodźca o danej charakterystyce widmowej stanowi sumę wektorową wektorów $M(l)$ barw monochromatycznych swojego widma:

$$B = \int_{\lambda} M(\lambda) d\lambda \quad B = \int_{\lambda} M(\lambda) d\lambda$$

co z kolei prowadzi do wniosku, że współrzędne trójkromatyczne takiego bodźca można wyrazić przy pomocy następujących wzorów:

$$X = \int_{\lambda} X(\lambda) d\lambda \quad Y = \int_{\lambda} Y(\lambda) d\lambda \quad Z = \int_{\lambda} Z(\lambda) d\lambda$$

Model barw CIE XYZ został zbudowany dla jednostkowego widma równoenergetycznego światła białego E tzn. pełnego widma widzialnego, którego każda składowa monochromatyczna $M(l)$ posiada tą samą jednostkową wartość energii. Punkty przecięcia wektorów $M(l)$ o składowych trójchromatycznych $X(l)$, $Y(l)$, $Z(l)$, z płaszczyzną barw $x+y+z=1$, tworzą krzywą nazwaną krzywą barw widmowych. W tablicach CIE podano składowe trójchromatyczne wszystkich wektorów $M(l)$ dla długości l z przedziału od 360nm do 830nm z krokiem 1nm. Współrzędne trójchromatyczne $x(l)$, $y(l)$, $z(l)$ wektorów $M(l)$, stanowią jej funkcyjny opis w przestrzeni barw XYZ. W ten sposób krzywa barw widmowych została wyskalowana w jednostkach długości l .

Tablice CIE zawierają także stabilizowane funkcje energetycznego rozkładu widmowego $S()$ trzech rzeczywistych bodźców światła białego, oznaczanych symbolami A, B, C, oraz ich współrzędne $S(x,y)$ na płaszczyźnie barw (tzn. współrzędne punktów, w których wektory bodźców A, B i C przecinają tę płaszczyznę).

Metoda pomiaru barwy **B** polega więc na:

1. Rozłożeniu wektora barwy **B** na poszczególne wektory składowych widmowych $M(l)$;
2. Pomierzeniu składowych trójchromatycznych $X(l)$, $Y(l)$, $Z(l)$ każdego wektora $M(l)$;
3. Obliczeniu składowych trójchromatycznych (X, Y, Z) wektora **B**;
4. Obliczeniu współrzędnych trójchromatycznych (x, y) wektora **B** na płaszczyźnie barw;
5. Wyznaczeniu długości fali dominującej i czystości pobudzenia barwy **B** (rysunek 4-8).

Jeżeli uwzględnić, że:

- bodziec świetlny barwy **B** posiada energetyczną charakterystykę widmową $E_B=M(l)$;
- bodziec rzeczywistego światła białego **R** ($R = A, B$ lub C), wywołującego wrażenie barwy **B**, posiada energetyczną charakterystykę widmową $E_R=S(l)$;
- składowe trójchromatyczne X, Y, Z są równe stosunkom luminancji odpowiednich bodźców bazowych B_X, B_Y, B_Z barwy badanej **B** i rzeczywistego światła białego **R**;

to:

- składowe trójchromatyczne (symbol V oznacza składową X, Y lub Z) poszczególnych monochromatycznych składowych widmowych badanej barwy można obliczyć korzystając z przekształcenia, w którym uwzględniono fakt, że postrzegana barwa **B** nie jest wywołana bodźcem światła **E**, dla którego zbudowany jest układ CIE XYZ, lecz bodźcem rzeczywistego światła **R**:

$$V_B(\lambda) = \frac{L_B(\lambda)}{L_R(\lambda)} * V_R(\lambda) = \frac{L_B(\lambda)}{L_R(\lambda)} * S(\lambda) * V_E(\lambda)$$

– składowe trójchromatyczne (X, Y, Z) badanej barwy B wyrażają wtedy wzory, w których $LB(l)$ i $LR(l)$ oznaczają wartości luminancji (lub wielkości do niej proporcjonalnych, np. wskazań miernika przyrządu pomiarowego) składowych monochromatycznych barwy B i źródła światła R , $S(l)$ oznacza rozkład widmowy energii źródła światła R , zaś $X(l)$, $Y(l)$, $Z(l)$ składowe trójchromatyczne widma źródła światła E :

$$X = \int_{\lambda} \frac{LB(\lambda)}{LR(\lambda)} * S(\lambda) * X(\lambda) d\lambda \quad Y = \int_{\lambda} \frac{LB(\lambda)}{LR(\lambda)} * S(\lambda) * Y(\lambda) d\lambda \quad Z = \int_{\lambda} \frac{LB(\lambda)}{LR(\lambda)} * S(\lambda) * Z(\lambda) d\lambda$$

– współrzędne trójchromatyczne ($x=X/(X+Y+Z)$, $y=Y/(X+Y+Z)$) są współrzędnymi punktu P przecięcia wektora barwy B z płaszczyzną barw, współrzędne trójchromatyczne źródła światła A , B lub C są współrzędnymi punktu Z na płaszczyźnie barw, zaś znajomość tych punktów pozwala wyznaczyć długość fali pobudzenia i czystość pobudzenia badanej barwy B (rysunek 4-8).

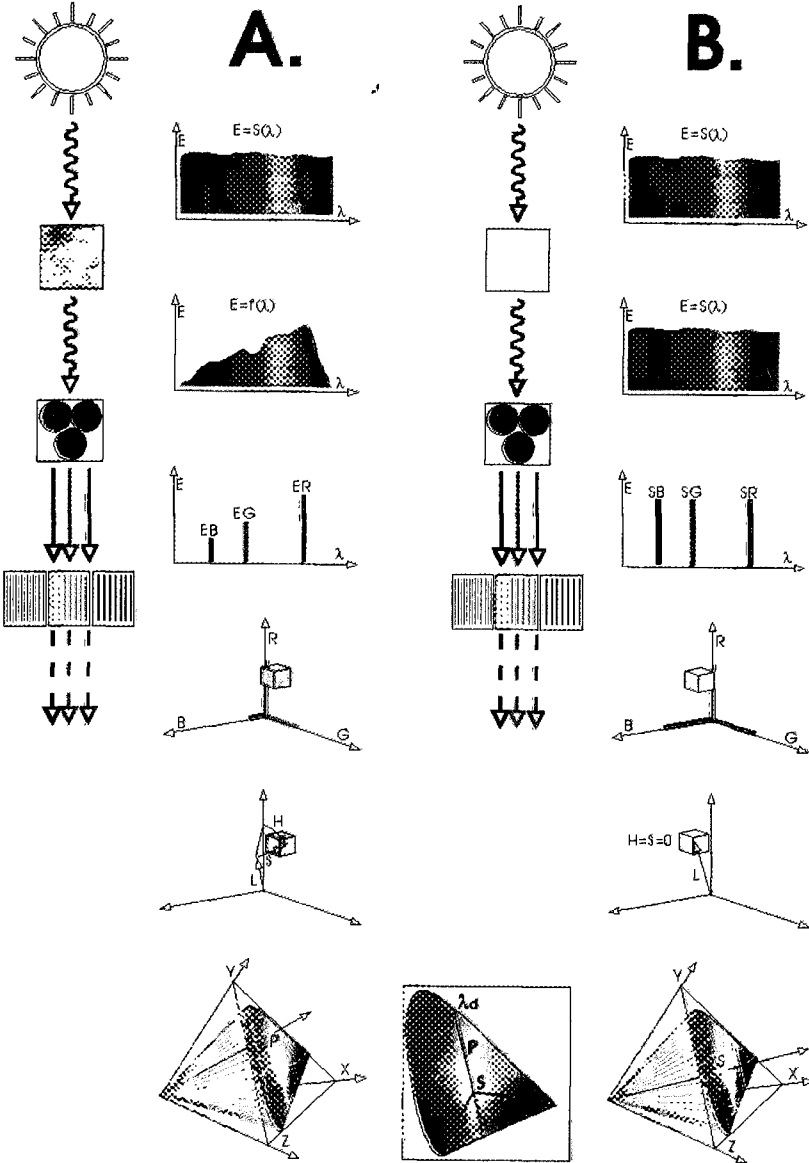
W analogiczny sposób można postąpić, aby wyznaczyć długość fali dominującej i czystość pobudzenia barwy, która posiada współrzędne (R, G, B) w komputerowym modelu RGB. Wartość składowych R , G , B proporcjonalna jest do energii składowych monochromatycznych widma badanego bodźca o długościach l_{RO} , l_{GO} i l_{BO} (zob. rozdział 2). Potrzebną w obliczeniach wartość luminancji wylicza się przez zamianę układu współrzędnych (R, G, B) na układ współrzędnych (H, S, L) . Metoda wymaga znajomości luminancji $LB(l)$ barwy badanej B oraz luminancji $LR(l)$ źródła światła R . Do wyznaczenia luminancji $LR(l)$ potrzebny jest tzw. wzorec bieli, czyli obiekt, który w świetle R generuje bodziec świetlny, posiadający taką samą charakterystykę widmową jak bodziec światła R (stąd nazwa takiego obiektu). Po wyznaczeniu składowych trójchromatycznych, dalsze postępowanie jest dokładnie takie samo jak opisane wyżej.

1. Ustawić balans bieli i ewentualnie balans czerni kamery (lub przesłone w aparacie fotograficznym) wykorzystując do tego celu przyjęty wzorec bieli. Zapewni to, że cały zakres energetyczny widma, będzie proporcjonalnie odwzorowywany na składowe R , G i B . Wykonać zdjęcie wzorca bieli i zdjęcie badanego obiektu. Dalej postąpić można na dwa sposoby.
2. Na podstawie wartości komputerowych składowych R , G , B dla bodźca światła R_R , G_R , B_R i dla bodźca barwy badanej R_B , G_B , B_B , wyliczyć równoważne im współrzędne H_R , S_R , L_R oraz H_B , S_B , L_B . Przyjąć $LB(l)/LR(l) = L_B/L_R$;
lub Na podstawie wartości komputerowych składowych R , G , B dla bodźca światła R_R , G_R , B_R i dla bodźca barwy badanej R_B , G_B , B_B , przyjąć za miarę stosunków luminancji stosunki $LB(l_{RO})/LR(l_{RO})=R_B/R_R$, $LB(l_{GO})/LR(l_{GO}) = G_B/G_R$, $LB(l_{BO})/LR(l_{BO}) = B_B/B_R$;

3. Wyliczyć składowe trójchromatyczne na podstawie wzorów:

$$X = \sum_{\lambda} \frac{LB(\lambda)}{LR(\lambda)} * S(\lambda) * X(\lambda) \quad Y = \sum_{\lambda} \frac{LB(\lambda)}{LR(\lambda)} * S(\lambda) * Y(\lambda) \quad Z = \sum_{\lambda} \frac{LB(\lambda)}{LR(\lambda)} * S(\lambda) * Z(\lambda)$$

gdzie sumowanie dotyczy długości l_{RO} , l_{GO} , l_{BO} .



Rys. 5-1. Transformacja barwy obiektu (kol. A) i źródła światła (kol. B)

MODEL E=f(l)	MODEL RGB	MODEL HSL	MODEL XYZ
długość widma	składowa R	odcień H	składowa X
czystość widma	składowa G	nasylenie S	składowa Y
amplituda widma	składowa B	jaskrawość L	składowa Z
			MODEL xy
			dł. fali dominującej
			czystość pobudzenia

Układ CIE bodźców podstawowych RGB, pomimo że odegrał w kolorymetrii podstawową rolę, posiada wiele wad. Największą z tych wad jest posługiwanie się ujemnymi wartościami składowych i współrzędnych trójkromatycznych. Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa (CIE) przyjęła więc (1931 r.) nowy układ (XYZ) tzw. bodźców odniesienia XYZ, który powstał przez transpozycję układu (RGB). Układ bodźców odniesienia XYZ, jest najczęściej wykorzystywany w kolorymetrii do pomiarów parametrów barwy (długość barwy dominującej, czystości pobudzenia itp.) [15]. Większość tych metod opiera się na pierwszym prawie Grassmanna, co obrazuje następujący uproszczony zapis powyżej przedstawionych równań:

$$P = XA + YB + ZC$$

A, B, C – trzy barwy podstawowe, najczęściej czerwona (R), zielona (G) i niebieska (B), X, Y, Z – odpowiednie ilości trzech barw podstawowych A, B, C (składowe trójkromatyczne).

Znając składowe trójkromatyczne dla układu normalnego można obliczyć współrzędne trójkromatyczne (x,y,z) według następujących wzorów:

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

$$z = Z / (X + Y + Z)$$

Dla układu dodatkowego (zob. dalej wyjaśnienie):

$$x_{10} = X_{10} / (X_{10} + Y_{10} + Z_{10})$$

$$y_{10} = Y_{10} / (X_{10} + Y_{10} + Z_{10})$$

$$z_{10} = Z_{10} / (X_{10} + Y_{10} + Z_{10})$$

Ilościowo składowe trójkromatyczne badanych próbek materiałów można wyznaczyć pomiarem fotometrycznym. Problem czasochłonności obliczania współrzędnych trójkromatycznych oraz składowych trójkromatycznych został już rozwiązany. Niektóre przyrządy fotometryczne umożliwiają otrzymywanie wprost tych wielkości. Stosując przyrządy starszego typu, np. spektrofotometr SPEKOL firmy Carl Zeiss Jena, na podstawie pomierzonych monochromatycznych współczynników luminancji można między innymi przy pomocy komputerowego programu BARWY obliczyć współrzędne i składowe trójkromatyczne.

Następnie, znając współrzędne tróchromatyczne barwy badanego materiału, można graficznie w oparciu o wykres chromatyczności wyznaczyć długość fali dominującej λ_d oraz jej czystość pobudzenia P_e .

Ponieważ powyższe czynności są wysoce czasochłonne, dla potrzeb niniejszego opracowania stworzono stale doskonalony program komputerowy (DOS) GRASMAN (wersja 4.01 do obliczeń dla kolorymetrii klasycznej i wersja 5.01 do obliczeń dla potrzeb komputerowej videografii). Ponadto w latach 1995-1996 powstał program PLUSKWA, pracujący pod Windows 3.11., do wyliczania powyższych wielkości. Oblicza on automa-

tycznie z monitorowych składowych R,G,B videogramów, monochromatyczne współczynniki luminancji w zakresie 380-760 nm., a na tej podstawie składowe oraz współrzędne tróchromatyczne oraz inne parametry barwy.

Wiadomo, że parametry barwy zależą od tzw. kąta obserwacji oraz rodzaju źródła światła. Jeżeli kąt obserwacji zawierać się będzie od $1-4^\circ$, to powyższe obliczenia przeprowadza się dla układu normalnego (ozn. N). Natomiast gdy kąt obserwacji będzie większy od 4° , co ma miejsce w większości pomiarów, obliczenia prowadzi się w układzie tzw. dodatkowym [17, 18]. Współrzędne tróchromatyczne w układzie normalnym x, y i w układzie dodatkowym x10, y10 dla barw widmowych tworzą na wykresie chromatyczności krzywą barw widmowych w układzie normalnym lub dodatkowym.

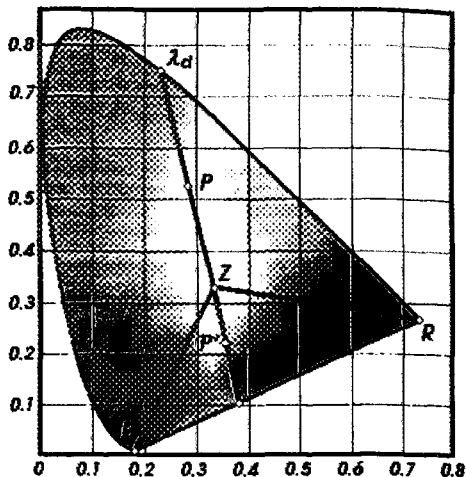
Chromatyczność barwy wyraża się przez podanie długości fali dominującej oraz czystości pobudzenia w normalnym lub dodatkowym układzie kolorymetrycznym.

W wypadku barw, którym odpowiadają punkty leżące w trójkącie BZR (rys. 3-11), zamiast długości fali dominującej należy podać długość fali dopełniającej, ze znakiem minus.

Również parametry barwy zależą od rodzaju źródła światła.

W barwometrii wyróżnia się następujące standardowe rodzaje źródeł światła:

- źródło A jest gazową żarówką ze skrętką wolframową o temp. rozkładu 2854K,
- źródło B stanowi bezpośrednio światło słoneczne o temp. barwowej ok. 4800K,



Rys. 3-11 Graficzne wyznaczenie fali dominującej w λ_d w układzie bodźców odniesienia XYZ

– źródło C to rozproszone światło słoneczne (światło nieba północnego) o temp. 6500K.

Znając składowe trójchromatyczne w układzie normalnym lub dodatkowym możemy obliczyć: tu CIELab:

$$L^* = 116 [Y/Y_o]^{1/3}$$

$$a^* = 500 \{ [X/X_o]^{1/3} - [Y/Y_o]^{1/3} \}$$

$$b^* = 200 \{ [Y/Y_o]^{1/3} - [Z/Z_o]^{1/3} \}$$

gdzie:

X, Y, Z – odpowiednie ilości trzech barw podstawowych A, B, C (składowe trójchromatyczne).

$$X_o = 98072, Y_o = 100, Z_o = 118225$$

Dla celów diagnostyki konserwatorskiej wystarczającym odwzorowaniem liczbowym różnicy w zmianie odcienia powierzchni jest układ CIE. Natomiast do badań i kontroli stanu oraz wpływu na ten stan różnych czynników destrukcyjnych dla obiektów polichromowanych, a przede wszystkim komputerowego doboru kolorów odpowiedni będzie układ LabCIE.

Podstawowym problemem, który należało rozwiązać w badaniach nad metodą multispektralnej analizy, to odtwarzalność warunków oświetlenia oraz problem przeliczenia danych (tzn. monitorowych R,G,B), otrzymanych przy pomocy układu kamera – komputer, na wielkości, z których można obliczyć parametry barwy w układzie CIE lub Lab CIE.

W celu porównania zmian barwy, przed i po działaniu czynnika niszczącego badanych powierzchni materiałów budowlanych, farb itp., dla potrzeb multispektralnej analizy videoobrazów [19] wykorzystywano, obok podania długości fali dominującej i czystości pobudzenia, następujące wielkości:

– zmiana barwy lub stopnia żółknięcia powierzchni białych wyrażająca się wzorem:

$$Wz = (r - b) / g * 100\%$$

gdzie:

r – stanowi monitorową składową R podzieloną przez wartość 256,

g – stanowi monitorową składową G podzieloną przez wartość 256,

b – stanowi monitorową składową B podzieloną przez wartość 256.

– zmiana barwy W_Z obliczana dla każdej próbki oddzielnie według wzoru:

$$DW = W_Z^1 - W_Z^2$$

gdzie:

W_Z^2 – zmiana barwy na początku obserwacji,

W_Z^1 – zmiana barwy po działaniu czynnika niszczącego.

– białosc (dla materiałów białych) określona jest wzorem:

$$W = 2 * (b - r)$$

– jasność (dla materiałów białych) jest dana wzorem:

$$W_j = 10 * g^{1/2}$$

Oznaczenia RGB to monitrowe składowe (R,G,B) videoobrazu, próbki określone przy pomocy programu PLUSKAWA v. 5.0.

Współczynnik adsorpcji światła

Jeżeli równoległą wiązką światła, o natężeniu I_o , oświetli się powierzchnię obiektu, to część światła zostanie rozproszona, część zaabsorbowana, a część przejdzie przez materiał. Z zasady zachowania energii wynika zależność:

$$I_o = I_r + I_t + I_a$$

gdzie:

I_o – natężenie światła padającego

I_r – natężenie światła odbitego

I_t – natężenie światła przechodzącego

I_a – natężenie światła zaabsorbowanego

Ponieważ dla znacznej ilości materiałów budowlanych wielkość I_t jest zaniedbywalna (są to ciała nieprzezroczyste), to wzór powyższy sprowadza się do postaci:

$$I_o = I_r + I_a$$

Jeżeli wzór przekształcimy dzieląc stronami przez :

$$I_o / I_o = I_r / I_o + I_a / I_o$$

gdzie:

$$I_r / I_o = t \text{ (współczynnik odbicia)}$$

$$I_a / I_o = a \text{ (współczynnik absorpcji)}$$

to otrzymamy:

$$a = 1 - t$$

Współczynnik odbicia $t = f(\lambda)$ w zakresie 380-760nm, można obliczyć na podstawie znajomości współrzędnych trójchromatycznych X,Y,Z [18]. Jak wia-

domo, obiekt wydaje się barwny, jeśli przepuszcza lub absorbuje promieniowanie z zakresu widzialnego w sposób zróżnicowany. Związki barwne wykazują selektywną adsorpcję w widzialnej części widma. Optyczną charakterystyką materiałów i substancji, stanowi jej krzywa adsorpcji. Istnieje ścisły związek między zabarwieniem substancji, a jej strukturą elektronową [20]. Cząsteczka (lub jon) wykazuje absorpcję w części widzialnej, podczerwieni lub nadfiolecie, gdy pod wpływem promieniowania (fotonów), elektrony jej zostaną przeniesione ze stanu podstawowego do jednego ze stanów wzbudzonych. Powstanie barwy lub jej zmiana są zawsze związane z deformacją normalnej elektronowej struktury cząsteczki. W związku z powyższym, rozkład adsorpcji od długości światła monochromatycznego w zakresie ultrafioletu, światła widzialnego i podczerwieni, będzie charakterystyczny dla danego ciała, a co za tym idzie i współczynniki dane $r = f(\lambda)$ zależą od rodzaju materiału. Tak więc, jeżeli pomierzmy wielkości monochromatycznych współczynników adsorpcji dla materiałów, to można w wielu wypadkach po kształcie krzywych zidentyfikować materiały, a przede wszystkim określać zmiany wywołane czynnikami niszczącymi.

Pomiaru monochromatycznych współczynników adsorpcji dla R, G, B można dokonać przy pomocy zestawu pomiarowego kamera – komputer w określonych warunkach oświetlenia, stosując monochromatory elektroniczne (filtry). Musi tu być jednak, spełniony warunek identycznego oświetlenia. W warunkach laboratoryjnych można łatwo zrealizować ten warunek, ale w wypadku oświetlenia naturalnego, jest to problem trudniejszy.

Stwierdzono, iż materiały nieorganiczne odbijają przeważnie promieniowanie czerwone i stosunkowo mało promieniowania fioletowego i niebieskiego. Materiały porośnięte organizmami zawierającymi chlorofil pochłaniają intensywniej promieniowanie o długości fali 680-690nm, tj. promieniowanie czerwone. Te obiekty mają dwa maksyma odbicia, jedno ok. 550nm odpowiadające barwie zielonej i drugie w niewidzialnej części widma ok. 720nm. Materiały mokre oglądane pod kątem, oświetlone światłem niebieskiego nieba (5600K), charakteryzują się znacznym odbiciem promieni niebieskich i fioletowych, a niekiedy wszystkich promieni widzialnych. Niektóre z materiałów np., niektóre pigmenty oraz spoiwa farb, wykazują również luminescencję wzbudzoną UV w zakresie widzialnym. Na przykład polialkohol winylowy daje silną luminescencję fioletowo-niebieską, w odcieniu niebieskim, polioctan winylu daje jaskrawą luminescencję niebieską, w odcieniu jasnoniebieskim, olej lniany – silną niebieską o odcieniu mlecznoszarym, a klej stolarski – jaskrawą białą o odcieniu szarobłękitnym.

2.3. ZASTOSOWANIE W DIAGNOSTYCE KONSERWATORSKIEJ BUDOWLI

2.3.1 Charakterystyka sprzętu i dedykowane oprogramowanie

W badaniach stanu zachowania zabytkowych obiektów budowlanych, wykorzystano kamerę CCD wysokiej rozdzielczości. Obraz analogowy z kamery wprowadzono przy pomocy karty tzw. „framme grabber” i analizowano dedykowanym programem:

Program PLUSKWA (Windows 3.11 PL)

Program PLUSKWA jest programem służącym do kompleksowej analizy obrazu, specjalnie dedykowanym dla potrzeb diagnostyki konserwatorskiej. Powstał po 1996 roku w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków s.c. w Toruniu.

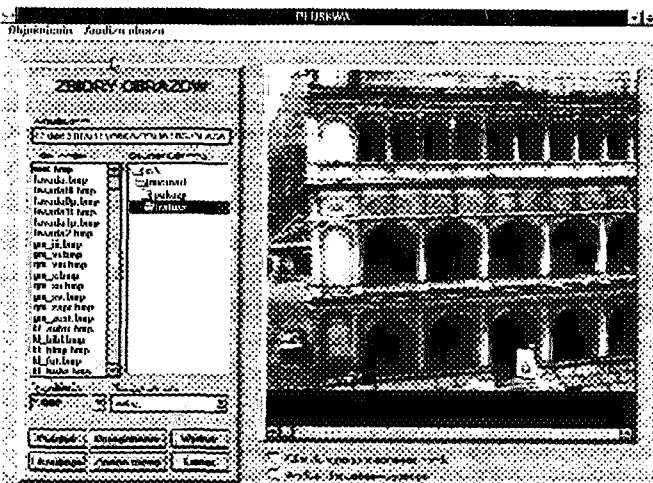
Składa się następujących części:

- właściwości optyczne powierzchni,
- kolorymetria tróchromatyczna,
- materiały i szkody powierzchniowe,
- warstwicowa kolorystyka obrazu

oraz dodatkowo wzbogacono go o następujące funkcje:

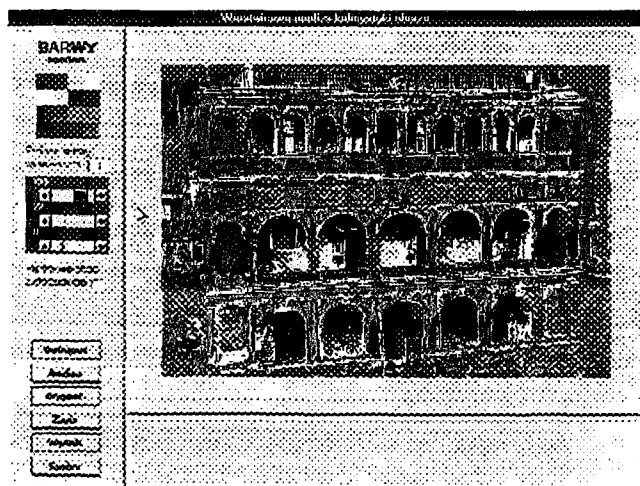
- transparentne powłoki malarskie, symuluje usuwanie werniksu z videoobrazów obiektów malarstwa,
- identyfikacja obiektów graficznych to narzędzie wspomagające porównywanie obiektów na videoobrazie,
- pomiary długości i powierzchni.

Na rycinie 5-4 pokazano główny ekran programu PLUSKWA.



Ryc. 5-4. Ekran główny programu PLUSKWA z wybranym videoobrazem

Najważniejszymi podprogramami programu PLUSKWA, są materiały i szkody powierzchniowe oraz warstwowa kolorystyka powierzchni umożliwiająca lokalizację żądanych obszarów o określonej charakterystyce. Służą one do ujawniania zróżnicowania jakości powierzchni badanych obiektów. Oczywiście ujawniają one obszary o wskazanych parametrach R,G,B oraz jasności, lub po składowych R,G,B itd. Nadanie znaczenia fizykalnego tym obszarom następuje w oparciu o pomiary punktowe wybranych cech w dostępnych partiach obiektu, przy pomocy innych metod np. o konduktometryczny pomiar rozkładu soli, oznaczenie właściwości akustyczne, określenie wilgotności itd. Rycina 5-7 pokazuje ekran podprogramu warstwowa kolorystyka obrazu z videobrazem po analizie.



Ryc. 5-7. Ekran podprogramu – warstwowa kolorystyka obrazu

Poniżej przedstawiono przykłady wykorzystania w/w sprzętu do badań diagnostycznych.

2.3.2. Badania przyczyn zawilgocenia obiektów

Do badań wybrano bazylikę w Rudach Raciborskich. Celem badań było wyjaśnienie przyczyn zawilgocenia ścian. Przed przystąpieniem do badań sądzono, iż przyczyną zawilgocenia, jest podciąganie wody z gruntu. Badania przyczyn zawilgocenia przeprowadzono po deszczu, przy oświetleniu niebieskie niebo kamerą SHARP. Stwierdzono, że podstawową przyczyną zawilgocenia jest wadliwy system odbierania wód opadowych, a nie podciąganie kapilarne wody przez mur z gruntu. Wniosek ten zweryfikowano, poprzez wykonanie sond gruntu stwierdzając, że grunty są przesiąkliwe, łatwo odprowadzają wodę opadową, a ich zawilgocenie jest małe. Rysunki A1-A3 prezentują wyniki przeprowadzonej analizy. Kolorem niebieskim zaznaczono podwyższony sto-

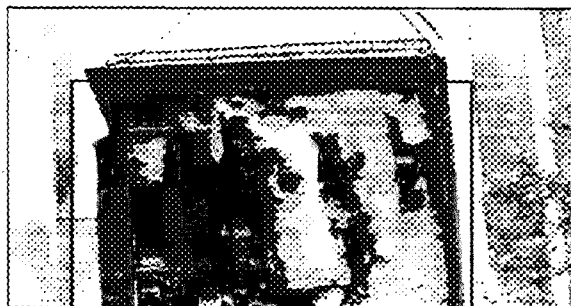
pień zawilgocenia tynków. Analizę przeprowadzono na zaznaczonych fragmentach videoobrazów, pozostawiając pozostałą część dla celów porównawczych niezmienną. Wczytane obrazy były obrazami z kolorem 21 bitowym w rozdzielczości 640 x 512 punktów.



A1



A2



A3

Ryc. 3-15. Wyniki badań zewnętrznych ścian bazyliki w Rudach Raciborskich

2.3.3. Przyczyny wybarwień na polichromiach

Po wykonaniu prac konserwatorskich przy malowidle ściennym w Sali Rycerskiej Pałacu w Kikole woj. wrocławskie, pojawiły się rozległe, nieznacznie zarysowane rdzawe wybarwienia. Po analizie komputerowej ujawniono przenikanie pary wodnej i migrację minerałów ilastych z zaprawy wapiennej do łoża

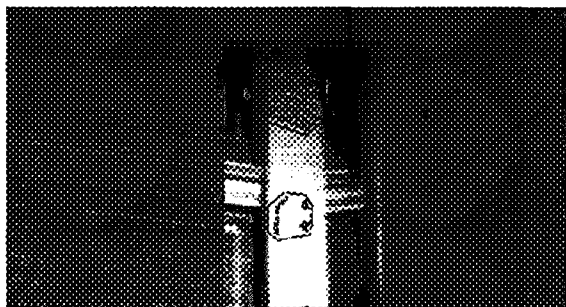
malowidła. Po dokonaniu rozkucia muru po stronie zewnętrznej, w miejscach wskazanych na wynikowych videoobrazach, odkryto nieszczelności w instalacji wodociągowo-kanalizacyjnej. W związku z powyższym nie było konieczności wykonania dodatkowych zabiegów konserwatorskich przy malowidle ściennym. Rysunki B1-B3 prezentują wyniki przeprowadzonej analizy. Kolorem niebieskim zaznaczono podwyższony stopień zawilgocenia tynków. Analizę przeprowadzono na zaznaczonych fragmentach videoobrazów, pozostawiając pozostałą część dla celów porównawczych niezmienną. Wczytane obrazy były obrazami z kolorem 21 bitowym i rozdzielczością 640 x 512. Badania przeprowadzono w świetle sztucznym, pod kątem 55⁰C przy pomocy kamery HITACHI.



B1



B2

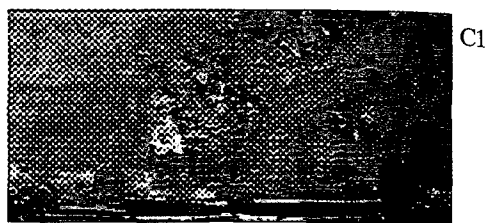


B3

Ryc. 3-16. Wyniki badań ścian
Sali Rycerskiej w pałacu w Kikole

2.3.3. Ocena jakości prac elewacyjnych

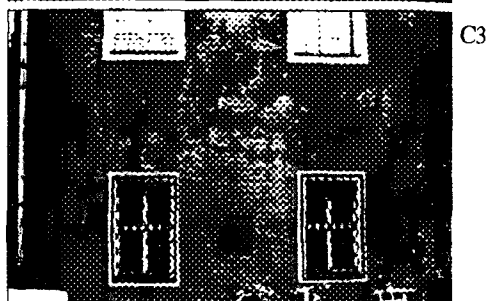
Celem przeprowadzonych badań było określenie przyczyn wad w wykonawstwie prac elewacyjnych na Zamku Przemysła II w Poznaniu. Badano wszystkie elewacje w świetle słonecznym, padającym pod kątem. Stwierdzono, że nie wykonano odpowiedniej izolacji poziomej obiektu (rysunek C1), do prac tynkarskich zastosowano nieodpowiedni skład zaprawy co powodowało mikropęknięcia (C2), a do malowania użyto farby o zbyt małym współczynniku paroprzechodności powodującym odspajanie i spęcherzenia nowej warstwy malarskiej (C3).



C1



C2



C3

Ryc. 3-17. Wideozrzuty ścian zewnętrznych Zamku Przemysła II w Poznaniu

2.3.4. Ujawnianie zewnętrznych pęknięć murów

Badaniom poddano elewację Ratusza Starego w Poznaniu, celem ujawnienia zewnętrznych pęknięć oraz uszkodzeń mechanicznych elewacji. Rysunek D1 prezentuje przykład ujawnienia pęknięcia nad oknem gotyckim w partii wieży od strony północnej. Wczytane obrazy były obrazami z kolo-rem 21 bitowym i rozdzielczością 640 x 512 punktów. Badania przeprowadzono w świetle nieba niebieskiego przy pomocy kamery HITACHI.

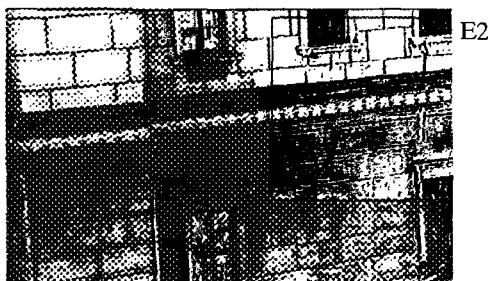


D1

Ryc. 3-18. Wyniki badań wieży Ratusza Starego w Poznaniu

2.3.5. Przyczyny powstawania nawarstwień

Badaniom poddano elewacje Starego Ratusza w Poznaniu. Na podstawie badań stwierdzono różne rozłożenie się czarnych nawarstwień na tynkowanych partiach muru. Intensywność nawarstwień była proporcjonalna do grubości muru. Przyczyną zróżnicowania tworzenia się nawarstwień była różna wielkość przenikania ciepłego muru (zob. rysunek E1), a co za tym idzie zróżnicowanie w osadzaniu się pyłów i sadzy pochodzących z zanieczyszczenia powietrza. Rysunek E2 ujawnia przyczynę pęknięć podokiennych. Wczytane obrazy były obrazami z kolorem 21 bitowym i rozdzielczością 640 x 512 punktów. Badania przeprowadzono w świetle nieba niebieskiego przy pomocy kamery HITACHI.



Ryc. 3-19. Wyniki analizy obrazu przyczyn powstawania nawarstwień na elewacji Ratusza Starego w Poznaniu

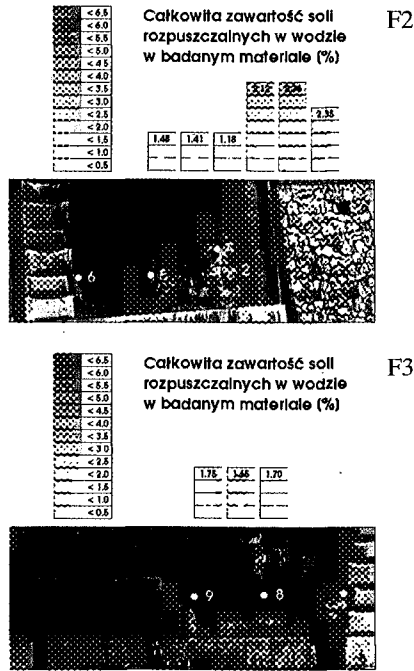
2.3.6. Ujawnienie wysoleń na murach

W wyniku analizy videoobrazu elewacji frontowej Bramy Wazów na Wawelu, okazało się, że przyczyn powstania zróżnicowania, po wykonaniu analizy widmowej zdjęcia, oznaczonego kolorem żółtym (zob. rysunek F1), nie można wytłumaczyć tylko działaniem wody opadowej czy podciąganej kapilarnie. Wykonano dodatkowe badania metodą konduktometryczną, oznaczając zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie w próbkach z partii oznaczonych kolorem żółtym.

Wyniki tych analiz pokazano na rysunku F2 i F3. Stwierdzono, że obok działania niszczącego wody na mur, występuje również oddziaływanie destrukcyjne soli łatwo rozpuszczalnych, wynoszonych w trakcie podciągania kapilarnego przez mur z gruntu i osadających się podczas jego wysychania.



Ryc. 3-20. Wyniki analizy videoobrazów Bramy Wazów na Wawelu



Ryc. 3-20. Zestawienie wyników metody analizy obrazów z analizą chemiczną soli rozpuszczalnych w wodzie

2. 4. MIKROSKOPIA KOMPUTEROWA Z MIKROKOLORYMETRIĄ

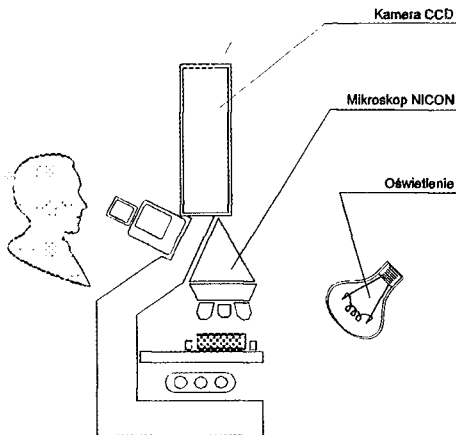
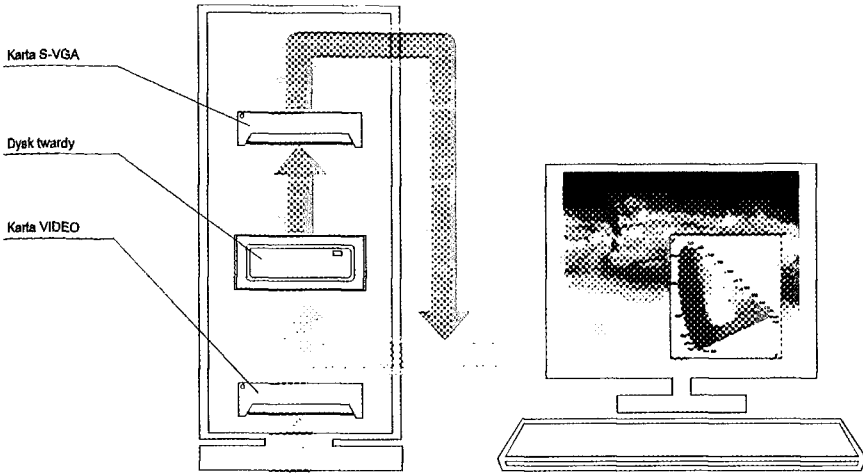
Na ostaniej Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej CIA, która odbyła się w połowie ubiegłego roku w Berlinie, obok prezentacji postępu badań teoretycznych powołano nową dziedzinę badań kolorymetrycznych, a mianowicie *mikrokolorymetrię*. Opiera się ona na teorii podanej poprzednio. Nie musimy udowadniać, jak ważnym jest pomiar barw obiektów zabytkowych, chociażby dla oceny stanu zachowania warstw malarskich po konserwacji, badaniach stratygrafii warstw malarskich, badaniach przemian mikrostruktury.

Ocena jej cech polega na subiektywnym osądzie konserwatora. Na Międzynarodowym Kongresie we wrześniu ubiegłego roku, który odbył się w Bułgarii na temat „Kolor w Sztuce” zaprezentowano szereg urządzeń firmy Minolta jak i innych firm oraz szereg prac z różnych światowych ośrodków prezentujących wykorzystanie mikrokolorymetrii w badaniach z zakresu historii sztuki i konserwacji.

W Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków powstało urządzenie unikatowe – stanowisko do badań metodą mikroskopii komputerowej w połączeniu z mikrokolorymetrią.

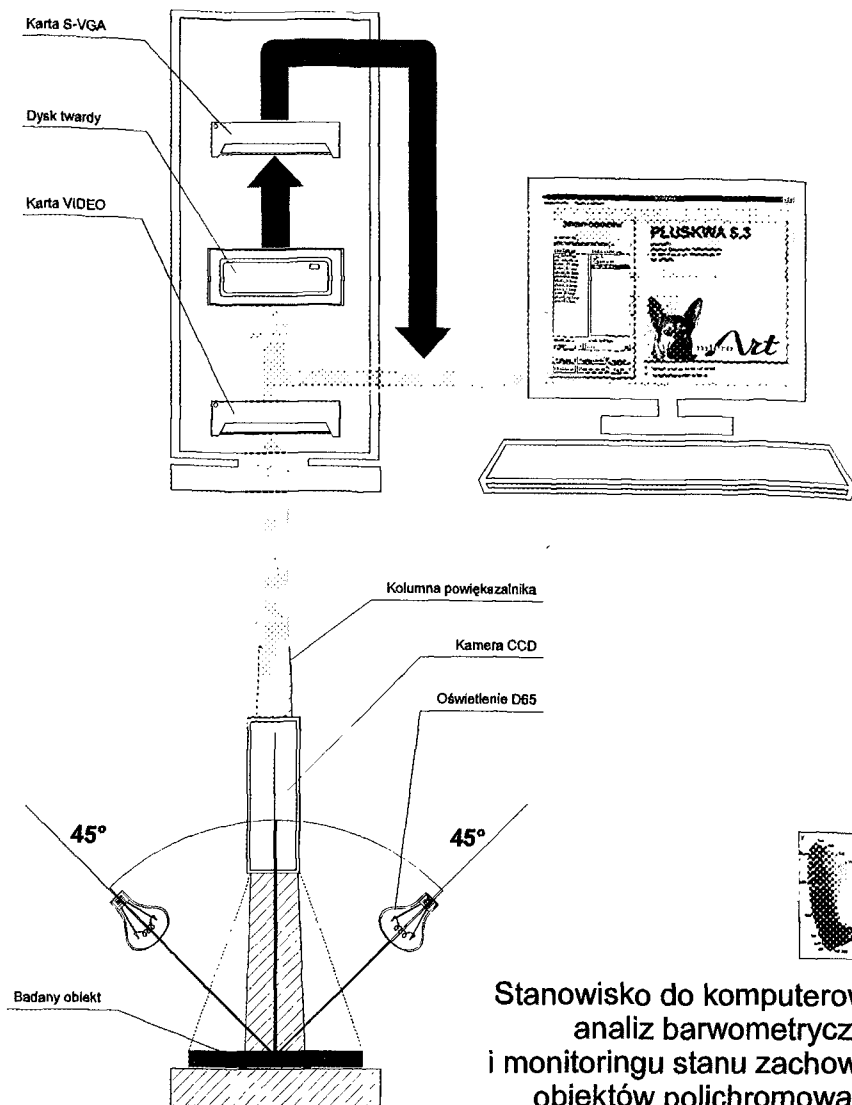
Aparatura ta składa się z mikroskopu, kamery CCD dużej rozdzielczości, karty video oraz komputera i dedykowanego oprogramowania do mikroskopowego pomiaru barw.

Schemat poniższy obrazuje zestaw do mikroskopii komputerowej.



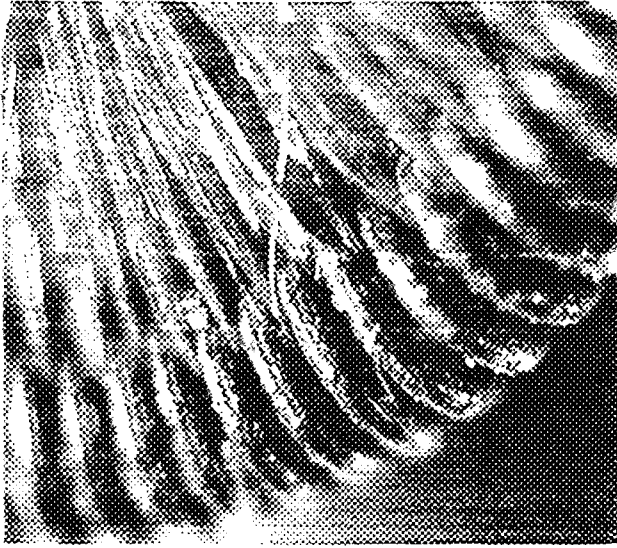
**Stanowisko do
komputerowej
mikroskopii
z mikrokolorymetrią**

Aparatura pozwala na wgląd w mikrostrukturę dzieł sztuki, a następnie na przeprowadzanie komputerowej analizy (w zakresie VIS,IR,UV) obrazu. Na podstawie analizy obrazu komputerowego próbek warstw malarskich, możliwe jest daleko pełniejsza, niż w klasycznej mikroskopii optycznej, ocena stratygrafii obiektu. Ponadto, umożliwia badanie stanu zachowania materiałów zabytków, co umożliwia daleko pewniejsze i szybsze poznanie technologiczne obiektów.



**Stanowisko do komputerowych
analiz barwometrycznych
i monitoringu stanu zachowania
obiektów polichromowanych
dla potrzeb muzealnictwa**

tów skierowanych do konserwacji i badań naukowo-historycznych. Urządzenie to już zastosowano w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków do badań warstw malarskich, kontroli procesu zdejmowania przemalowań olejnych ze srebrzeń, badań przyczyn korozji blach miedzianych z Ratusza w Poznaniu, elementów wyposażenia grobu Anny Wazówny i innych. Poniższe zdjęcie pokazuje splot nici złotych z grobu Anny Wazówny z kościoła NMP w Toruniu. Obrazy tego typu można wykorzystać nie tylko do badań konserwatorskich, ale chociażby nad historią technik tkactwa.



Wykorzystano je również do badań znaków i cech probierczych na wyrobach ze złota i srebra.

Ponadto tak wykonane videogramy można łatwo archiwizować i przechowywać w postaci nie zmienionej przez lata postaci cyfrowej.

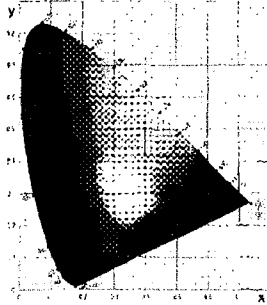
2.5. BARWOMETRIA W BADANIACH OBIEKTÓW POLICHROMOWANYCH

Wielokrotnie konserwator, architekt, a szczególnie historyk sztuki musi opisać kolor poszczególnych partii obiektów. Szczególnie dotyczy ten fakt obiektów polichromowanych. Dobrze wiadomo, że kolor nie może być precyzyjnie określony słownie. Przecież mamy tysiące odcieni bieli, zieleni, czerwieni itp. Również analizy technologiczne zmierzające do ustalenia składu poszczególnych warstw, nie precyzują dokładnie użytego koloru, ponieważ kolor jest wypadkową wielu czynników. Między innymi sposobu i rodzaju warstw technologicznych oraz techniki malarskiej. Trudno też jest słownie opisać sposób opracowania poszczególnych partii obiektu, czy zróżnicowanie walorowe. Również fotografia kolorowa nie dokońca oddaje w sposób prawidłowy poszczególne barwy, ponieważ zazwyczaj jest wykonywana w warunkach nie standaryzowanych. Z związku z powyższym w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków w Toruniu opracowano podstawy teoretyczne, stanowisko i oprogramowanie do badań barwometrycznych obiektów polichromowanych.

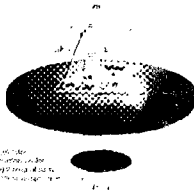
Stanowisko składa się z kamery CCD umieszczonej na statywie i dwóch źródeł światła, umieszczonych pod kątem 45 st., które oświetlają równomiernie powierzchnię badawczą. Kamera CCD została przy pomocy odpowiedniej karty włączona do komputera, gdzie gromadzone są obrazy. Wczytywanie do

komputera danych obrazowych o badanym obiekcie wykonuje się zawsze równoległe z wzorcem bieli. Opracowano również oprogramowanie do analizy.

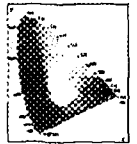
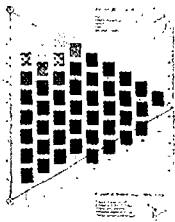
System Yxy



System L*a*b*



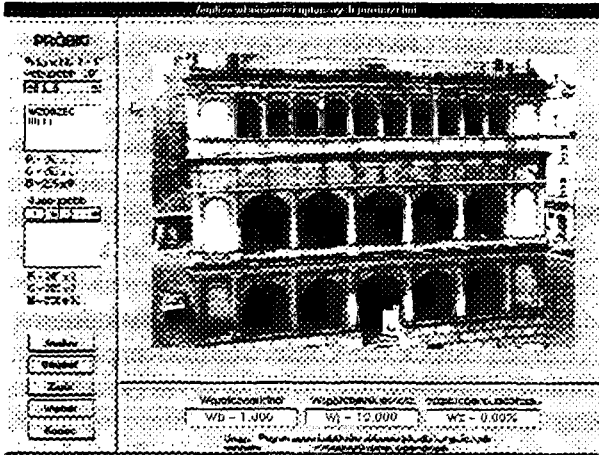
System NCS



Stanowisko do komputerowych analiz barwometrycznych i monitoringu stanu zachowania obiektów polichromowanych dla potrzeb muzealnictwa

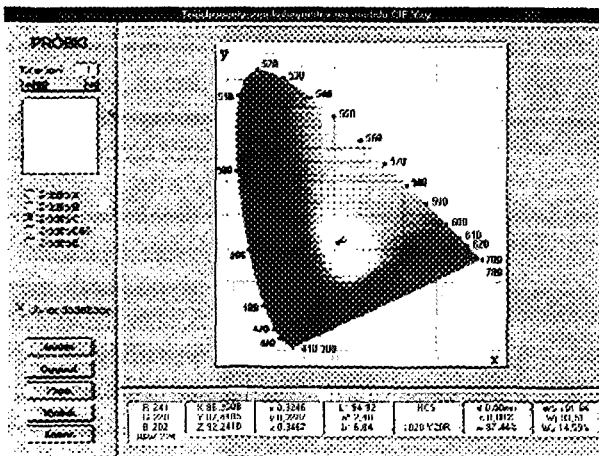
Ryc. 2.5.1. Schemat do komputerowych analiz barwometrycznych

Rycina nr 2-24 Pokazuje ekran podprogramu właściwości optyczne powierzchni. Program oblicza dla frb białych współczynniki białości, jasności i zażółcenia w oparciu o pomiar wielkości monitorowych RGB według wzorów już prezentowanych.



Ryc. 2.5.2. Ekran podprogramu właściwości optyczne powierzchni

Natomiast na rycinie 2-25 pokazano ekran podprogramu kolorimetrii trójkromatycznej. Program oblicza z pomiarów monitorowych wielkości R, G, B opisane już składowe i współrzędne trójkromatyczne, długość fali dominującej, czystość pobudzenia, wartości CIE Lab, parametry) systemu NCS (nieopisanego w niniejszej pracy, ale szeroko stosowanego w praktyce przez wytwórców farb) oraz współczynniki białości, jasności i zażółcenia w oparciu o obliczone uprzednio wartości składowych trójkromatycznych.



Ryc. 2.5.3. Ekran podprogramu PLUSKWA – kolorimetria trójkromatyczna

Powyższy zestaw może służyć do badań dla potrzeb muzealnych zmian barwowych obiektów eksponowanych. Również historykowi sztuki dla badań porównawczych polichromii różnych obiektów polichromowanych, opisu barw itd.

2.6. INNE MOŻLIWOŚCI ANALIZY OBRAZÓW

W ostatnich latach, podejmuje się coraz więcej prób wykorzystania analizy komputerowej w badaniach historycznych, ikonograficznych i technologicznych dzieł sztuki, jak również w badaniach wspomagających prace konserwatorskie tych obiektów. Dzieła wielu malarzy kryją niejedną nie rozwiązaną do dziś tajemnicę, zaś szeroko rozwinięta technika komputerowa, może w znacznym stopniu przyczynić się do ich rozwiązania. Nikogo nie dziwi już dokumentacja i badania stanu zachowania przy pomocy kamery i komputera w zakresach VIS, IR, UV. W różnych ośrodkach konserwatorskich prowadzi się również prace nad zastosowaniem nieniszczącej komputerowej analizy videoobrazów. Przytoczyć tu można kilka przykładów.

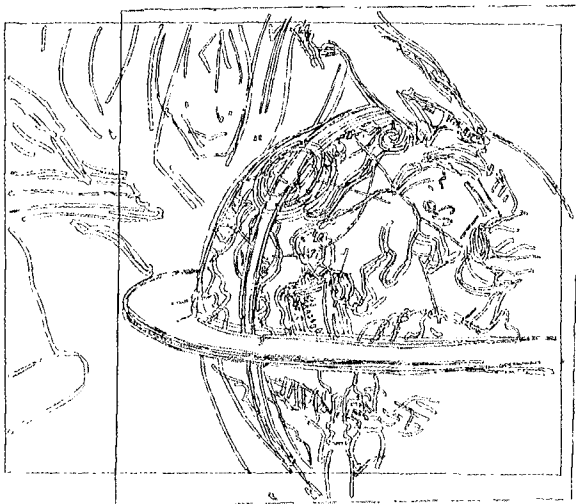
Na Uniwersytecie imienia Mikołaja Kopernika w Toruniu, w Polsce, prowadzone były w 1994r. badania, z wykorzystaniem analizy komputerowej, nad rozszyfrowaniem historyczno – ikonograficznych źródeł obrazu Madonna z Dzieciątkiem. Znalaziono trzy, niemalże identyczne pod względem kompozycyjnym i kolorystycznym, malowidła. Na tej podstawie wysnuto przypuszczenie, że obrazy te namalowano używając jednego, wzorcowego rysunku. Sugestie poszły nawet dalej – wzorcowy rysunek był przenoszony niczym kalka w tych trzech przypadkach (przykładowo pokazano na ryc. poniżej. J. Jagodziński 1994 r.).



Ryc. 2.6.1. Przykład porównania dwóch obrazów

Drobne różnice powstały już prawdopodobnie w trakcie malowania. Tezę o powieleniu kompozycji udowodniono dzięki komputerowemu nałożeniu videoobrazów, dwóch, następnie trzech obiektów. Rysunek i kompozycja zgadzały się w trzech wypadkach niemal zupełnie. Ułatwiło to znacznie dalsze poszukiwania związane z historią badanego obiektu, pozwoliło ustalić warsztat z jakiego obraz się wywodził, jak również pomogło rozszyfrować

wać problemy ikonograficzne tematu. Prace prowadzone były przez Katarzynę Wantuch i stanowiły część pracy dyplomowej realizowanej w Zakładzie Konserwacji Malarstwa Sztalugowego i Rzeźby Polichromowanej we współpracy z Pracowniami Badań i Konserwacji Zabytków). Podobne badania wykonał J. Flik nad portretem Heweliusa z Gdańska. Zdejmując rysunek z obrazu gdańskiego porównał go techniką komputerową, z rysunkiem podobnego portretu znajdującego się w zbiorach Oxfordu. Na tej podstawie przeprowadził analizę porównawczą kompozycji obu obiektów (ryc. 2 wykonawca L. Jagodziński z PBiKZ s.c. [21, 22, 23]).



Rys. 2.6.2. Przykład sposobu porównania kompozycji

Nieniszczącą analizę komputerową można wykorzystać nie tylko do ustaleń historyczno, ikonograficzno – kompozycyjnych. Prowadzone są badania nad wprowadzeniem jej do wspomagania prac konserwatorskich. Wysoko rozwinięta technika komputerowa wykorzystana była między innymi przy konserwacji Kaplicy Sykstyńskiej, czy przy wspomnianej rekonstrukcji malowideł w Greenwich. W obu przypadkach komputer użyty był głównie w końcowym etapie prac przy realizacji. W konserwacji jednak równie ważne, bo mające ogromny wpływ na ustalenie programu prac konserwatorskich, jest postawienie odpowiedniej diagnozy. Od tego zależy, czy użyte metody i środki okażą się być skuteczne, a przede wszystkim nieszkodliwe dla obiektu. Toteż wszelkie prace konserwatorskie poprzedzone są zawsze licznymi badaniami. Dzięki analizie komputerowej niektóre z tych badań mogą być łatwiejsze do wykonania, niektóre zaś bez komputera byłyby w ogóle niemożliwe.

Poważnym problemem jest wybór optymalnej metody konserwatorskiej zastosowanej wobec tych obiektów. Są one zwykle werniksowane przy pomocy odpowiednich roztworów żywic, dawniej naturalnych dzisiaj coraz częściej syntetycznych. W zależności od rodzaju, żywice w różnym stopniu ulegają procesom starzeniowym, jednak żadna z nich nie tworzy werniksu odpornego na tyle, by bez poważnych zmian zachował stałe właściwości w dłuższym okresie czasowym. W wielu przypadkach zmiany te zaszły tak daleko, że niezbędne jest usunięcie werniksu. Często werniks ten jest wtórny. Jego zciemnienie może wynikać z procesów starzeniowych, lecz również ze sposobu prowadzonych

w ubiegłym stuleciu prac restauratorskich, mających na celu nadanie obrazom tak zwanego „tonu galeryjnego”. Mimo, że ich dzisiejszy wygląd daleki jest od oryginału, obrazy te utrwały się w świadomości ogólnej właśnie jako ciemne i przyżółcone. Zdjęcie werniksu mogłoby wprowadzić spowodować uczytelnienie, zwiększenie kontrastów i „odfalszowanie” barw, ale ta diametralna zmiana wywołać by mogła szok u odbiorców. Dotyczy to głównie dzieł cennych. Trudno więc zdecydować się na tak radykalny krok, nie wiedząc jaki będzie efekt końcowy. Decyzja o zdjęciu werniksu jest trudna również z innego względu – oczyszczenie lica i zdjęcie werniksu spowoduje, że wiele informacji na temat obrazu, które powinniśmy wyciągnąć przed zaczęciem prac, może nam umknąć. Optymalną sytuacją byłoby otrzymanie ilustracji efektu zdjęcia werniksu bez faktycznej, fizycznej ingerencji na obiekcie zabytkowym. Niestety efektu tego nie da się przewidzieć wykorzystując metody tradycyjne. Stwarza to konieczność badań nad komputerową symulacją usuwania werniksu z obiektów malarstwa sztalugowego. Takie właśnie badania przeprowadzane są w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków s.c. w Toruniu przy współudziale Zakładu Konserwacji Malarstwa Sztalugowego i Rzeźby Polichromowanej na Uniwersytecie imienia Mikołaja Kopernika. W ramach współpracy, pracami ze strony UMK koordynuje prof. dr Bogumiła Rouba. Badania te, to fragment pracy magisterskiej M. Bachulskiej.

Poniższy rycina prezentuje obraz, z lewej strony z usuniętym werniksem mechanicznie, z prawej – usunięty komputerowo (w prostokącie).



Ryc.. Porównanie rzeczywistego (lewa strona twarzy na zdjęciu lewym i prawym) i komputerowego (prawa strona twarzy na zdjęciu prawym) usunięcia werniksu

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzić można, że problem symulacji komputerowego usuwania werniksu z obrazów malarstwa sztalugowego nie jest zagadnieniem trywialnym. Zbadano, że nie polega on na prostym, jak się zdawało początkowo, odjęciu w całym zakresie widzialnym określonej wartości jednego, elektronicznego filtra. Okazało się więc, że należy uwzględnić zróżnicowanie przepuszczalności światła werniksu w zależności od długości fali. Ponadto w programie symulacji należy uwzględnić wyniki badań w podczerwieni i w ultrafiolecie, aby nieniszcząco zlokalizować fragmenty wcześniej rekonstruowane. Badania są kontynuowane [24].

3. MULTIMEDIA

3. 1. WSTĘP

W poszukiwaniu nowych form prezentacji zbiorów, czołowe muzea coraz szerzej wprowadzają techniki multimedialne wspomagane komputerowo celem wzbogacenia i uatrakcyjnienia ekspozycji. W polskich muzeach tego rodzaju technika jest reprezentowana śladowo. Wykorzystanie technik multimedialnych rozwija się w trzech kierunkach, a mianowicie:

– pierwszy to tworzenie cyfrowych dokumentacji i interaktywnych baz danych opisujących zasoby. Komputerowe stacje multimedialne mogą być wykorzystywane z jednej strony jako przewodniki, udzielając zwiedzającym wszechstronnych informacji o zasobach muzeum w trakcie oprowadzania po pomieszczeniach wystawowych, z drugiej zaś jako źródło dodatkowych informacji na temat eksponatów. Zainteresowani mając dostęp do tego rodzaju baz danych mogą poznawać i porównywać między sobą określone obiekty muzealne z innymi obiektami, które nie są dostępne na miejscu lub nie mogą być wystawiane. W ten sposób można wyjaśniać znaczenie różnych motywów, elektronicznie rekonstruować brakujące części niekompletnych eksponatów itp. Znakomita większość dzieł sztuki pokazywana jest zwiedzającym w swej ostatecznej postaci. Wykorzystanie techniki komputerowej umożliwia przedstawienie lub odтворzenie procesu powstawania dzieła, poszczególnych faz projektu, zastosowanych technik, materiałów i innych środków wyrazu. Dotyczy to zwłaszcza muzeów przyrodniczych i etnograficznych, których eksponaty stanowią doniosłe świadectwa różnych form życia, procesów ewolucyjnych i cywilizacyjnych. Komputery stwarzają możliwości ich wirtualnej rekonstrukcji. Niezmiernie interesującym dla wielu zwiedzających jest pokazanie procesu badawczego lub zapoznanie się z zabiegami konserwatorskimi. Informacje o posiadanych zasobach muzealnych można umieszczać w bazach danych i poprzez sieć udo-

stępniać innym muzeom. Tego typu systemy funkcjonują już w Europie. Można tu wymienić znany system Europejska Sieć Muzeów stworzony w ramach programu RACE i funkcjonujący pod opieką UE. Według intencji projektodawców systemu, zwiedzający kupując jedną jedyną kartę wstępu do któregoś z muzeów Sieci zyskuje możliwość „zwiedzenia” muzeów całej Europy [27].

– drugi to wydawnictwa na CD-ROM [28] przygotowywane w oparciu o m.in. utworzone wcześniej dla zwiedzających bazy danych przewodników, informatorów czy katalogów wystaw. Coraz szersze wprowadzanie dysków CD-ROM (dzisiaj już DVD), jako nośnika informacji, zmienia dostęp do wiedzy w sposób porównywalny ze skutkami wynalezienia druku przez Gutenberga. Dzięki ogromnej pojemności dysków CD-ROM (ok. 650 Mb co odpowiada 150.000 stronom standardowego tekstu) możliwe stało się rozpowszechnianie ogromnych ilości informacji, w których tekst łączy się z odpowiednimi ilustracjami, animacją, filmem i dźwiękiem. Programy multimedialne tworzą z komputera przyjazne i przede wszystkim efektywne narzędzie poznawania świata w całej jego bogatej złożoności. Tym co powoduje, że CD-ROM oznacza nową jakość jest, poza ilością przenoszonych informacji, organizacja a co za tym idzie sposób korzystania ze zgromadzonych informacji. Ogólnie nosi ona nazwę hipertekstu a oznacza nie tylko możliwość korzystania ze znanych w tradycyjnych wydawnictwach spisów treści, indeksu głównego i wielu indeksów monotematycznych, ale również tak zwanych połączeń hipertekstowych. Połączenia hipertekstowe prowadzą korzystającego poprzez taką publikację różnymi drogami, indywidualnie przez niego wybieranymi. Nie jest on ograniczony jedynie do naturalnego układu informacji lecz ma możliwość wyboru własnego sposobu korzystania z niej, zgodnie z aktualnymi potrzebami i zainteresowaniami. Jeśli interesuje kogoś np. konkretny instrument, to mając CD-ROM z muzeum instrumentów, może nie tylko przeczytać historię lub opis tego instrumentu, ale także obejrzeć różne zdjęcia instrumentu, rysunki przedstawiające jego budowę, odsłuchać skalę dźwiękową lub utwory muzyczne z nim związane, a nawet oglądnąć film pokazujący sposób grania na takim instrumencie lub jego miejsce w orkiestrze lub zespole instrumentów. Dzięki powiązaniom hipertekstowym następnym krokiem nie musi być przejście do następnego rozdziału, zgodnie z naturalnym porządkiem rozdziałów w publikacji, lecz do jednego z kilku rozdziałów lub konkretnych miejsc w rozdziałach, w różny sposób związanych z rozdziałem aktualnym. Pierwszym wydanym w Polsce na CD-ROM katalogiem z wystawy, jest katalog towarzyszący wystawie twórczości Andy Varhola prezentowanej w Muzeum Narodowym w Warszawie [29].

– trzeci to wspomagane techniką komputerową prezentacje zbiorów muzealnych w formie widowisk dla zwiedzających. Poniżej zostaną zaprezentowane różne możliwości dużych prezentacji, których założenia powstały w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków s.c. w Toruniu.

3.2. GENEZA MULTIMEDIÓW

Początek multimediiów w dzisiejszym rozumieniu tej techniki można datować na schyłek lat osiemdziesiątych. W 1988 roku ukazała się książka autorów S. Ambrona i K. Hoopera pt. *Interactive Multimedia*, w której to pojęcie nie miało nic wspólnego z komputerami czy elektroniką. Multimediami nazwano zestawy prezentacyjne, w których zebrane były różnego typu materiały – drukowane informatory, materiały ilustracyjne, slajdy, filmy, analogowe taśmy magnetofonowe i video oraz inne. W istocie więc dla słuchacza dostępne były różne media, ale ze względu na brak dobrych powiązań między nimi prezentacje z ich wykorzystaniem wymagały dużego nakładu sił i środków technicznych, a efekt nie zawsze był zadawalający zarówno dla widzów jak i prezentatorów. Jednak niektóre, udoskonalone elementy tego systemu, są wykorzystywane do dzisiaj. Szeroko stosuje się np. rzutniki slajdów i „światła białego”, magnetowidy lub informacyjne systemy analogowej telewizji przemysłowej. Przy pomocy tego rodzaju sprzętu realizować można prezentacje tylko metodą podającą, bez zbytejnej aktywności ze strony słuchaczy, a więc mało efektywną. Sprzęt ten wykazuje dużą zawodność, a przygotowanie dobrych jakościowo materiałów prezentacyjnych jest procesem długotrwałym i wysoce kosztownym. Również powielanie gotowych już materiałów jest drogie ze względu na konieczność korzystania z usług wydawnictw poligraficznych, wytwórni nagrań dźwiękowych i filmowych czy studiów fotograficznych. Ponadto składowanie tego rodzaju materiałów wymaga szczególnych warunków i miejsca. Przygotowanie sprzętu do takich prezentacji jest niezwykle czasochłonne, a on sam zawodny. Niejednokrotnie ramki slajdów rozsypują się, rzutnik zaczyna, przepalają się żarówki, a wówczas uczucie bezradności organizatorów pokazu pokonuje ich wszelkie wysiłki. Przyczyną tych niepowodzeń jest duża liczba elementów mechanicznych i elektrycznych czułych na wszelkie zanieczyszczenia, zmiany temperatury i wilgotności powietrza bądź udary mechaniczne oraz sama niedoskonałość techniczna sprzętu. Przykładem tego rodzaju prezentacji było zrealizowane w latach siedemdziesiątych, w Muzeum Kopernika w Toruniu, widowisko multimedialne dotyczące życia i idei Mikołaja Kopernika, oparte o wyświetlane przezrocza i oświetlaną, według określonego scenariusza, przestrzenną makietę średniowiecznego Torunia.

Szybki rozwój techniki cyfrowej pozwolił na znaczne rozwinięcie i wzbogacenie prezentacji wykorzystujących techniki multimedialne poprzez zastosowanie komputerów. Termin „multimedialny” jest dzisiaj terminem wieloznacznym. Można się jednak zgodzić ze stwierdzeniem, że dzięki cyfrowej technologii udało się połączyć w całość – w jednym medium – to, co zawsze występowało oddzielnie, a więc tekst, obraz, animację, film i dźwięk.

3.3. PRZYKŁADY MOŻLIWOŚCI PREZENTACJI

3.3.1. Koncepcja prezentacji rotundy i palatium na Ostrowie Lednickim

Centrum wczesnośredniowiecznego zespołu osadniczego na Ostrowie Lednickim skupione jest na wyspie Jeziora Lednickiego, na szlaku piastowskim w Wielkopolsce.



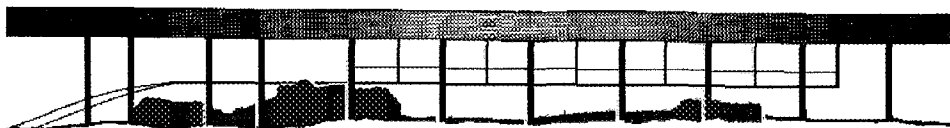
Ryc.1 Położenie wczesnośredniowiecznego zespołu osadniczego na Ostrowie Lednickim oraz widok na istniejące obecnie zadaszenie zabezpieczające relikty architektoniczne

Relikty architektoniczne na Ostrowie Lednickim zlokalizowane są w obrębie II gródu, na fundamentach I gródka z połowy IX w. Wzniesiono je przy południowo-zachodnim odcinku jego obwodu. Tworzy je orientowana centralna kaplica, do której od strony zachodniej przylega prostokątne palatium. W bezpośrednim sąsiedztwie kaplicy znajduje się dobudowany później aneks – rodzaj donżonu (z długiej połowy XI w.). Palatium posiada bogate rozczłonkowanie przyziemia. W jego zachodniej części zlokalizowana jest wielka aula, której sklepienie lub strop wsparte było na dwóch filarach. Przeprowadzone w ostatnich latach na terenie rotundy i palatium oraz w ich otoczeniu badania archeologiczno-architektoniczne przyniosły szereg doniosłych odkryć.

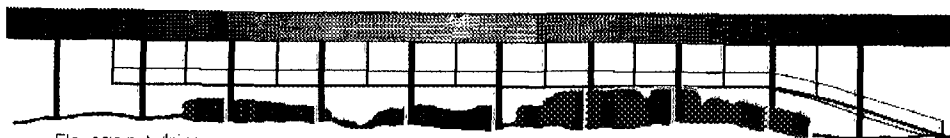
Grodzisko i ruiny budowli z X-XI w. są wyjątkowe i w skali kraju i Europy. Stanowią o tym niewątpliwie: nie przekształcony krajobraz łączący wartości kulturowe i przyrodnicze, unikatowość miejsca historycznego związanego materialnymi relikami i ich symboliką z początkiem państwa i chrześcijaństwa w Polsce, a także – co jest rezultatem badań przeprowadzonych w ostatnich latach – odkrycie pierwotnej funkcji kaplicy, zlokalizowanej w najstarszej fazie baptysterium, jako miejsca związanego z chrztem najbliższych Mieszkowi I dostojników i drużyników [30].

W związku z powyższym uznaje się za konieczne opublikowanie wyników badań nie tylko w postaci wydawnictw lecz także w formie widowiska plenerowego na terenie zespołu. Obiekt wymaga jednak stałej ochrony konserwatorskiej, ponieważ zastosowane tu materiały budowlane podlegają stałej degradacji pod wpływem specyficznych czynników klimatycznych (wyspa na jeziorze). Próby rozwiązania tego problemu podejmowano w latach pięćdziesiątych, a następnie siedemdziesiątych. Uratowało to prawdopodobnie zachowane jeszcze relikty przed całkowitą destrukcją jednakże, jak wynika z ostatnio przeprowadzonych badań, było to daleko niewystarczające. Istniejąca obecnie nad obiektem wiata wymaga zmian odpowiednio do całościowej koncepcji konserwatorskiej, a równocześnie jest nie do zaakceptowania jako instalacja szpecąca ten obiekt. Trudno jest również zaakceptować koncepcję działania gospodarza tego terenu – Wielkopolski Park Etnograficzny – polegającą na nadbudowie ruin w oparciu o nowoczesne techniki konstrukcji, celem urządzenia pod taką budowlą stosownej ekspozycji [31]. Taka budowla, oparta o istniejące mury, spowodowałaby zmiany mikroklimatu i przyspieszoną destrukcję ruiny.

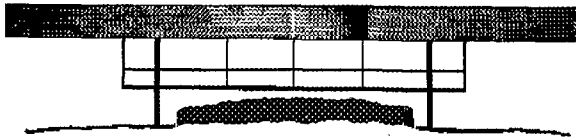
W 1990 roku powstała koncepcja zmiany zadania ruiny [32], poprzedzona szczegółowymi badaniami konserwatorskimi, w taki sposób aby łączyła dwie funkcje. Pierwsza to ochrona przed czynnikami atmosferycznymi, druga to funkcja ekspozycyjno-prezentacyjna. W celu uniknięcia niszczącego wpływu prac ziemnych na warstwy archeologiczne proponuje się oparcie dachu na istniejących podporach, dodając jedynie dwa słupy od strony zachodniej, czyli na kierunku najczestszych wiatrów.



Elewacja północna



Elewacja południowa

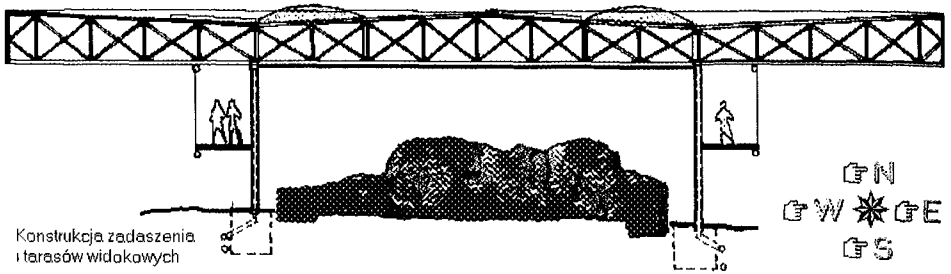


Elewacja zachodnia



Elewacja wschodnia

Ryc.3.2 Projekt nowego zadaszzenia – widok poszczególnych elewacji

Konstrukcja zadaszzenia
i tarasów widokowych

Ryc.3.3 Konstrukcja nowego zadaszzenia – funkcje ochronno-prezentacyjne

Konstrukcję nowego dachu stanowi przestrzenna kratownica. Zadaszenie ma kształt elipsy, a poprzez to stawia mniejszy opór wiatrowi. Płaszczyzna boczna zadaszenia pokryta jest bezspojonowo szkłem refleksywnym dając odbicie nieba wszystkim patrzącym, z każdego punktu wyspy. W efekcie cała bryła nowego dachu jest neutralna oraz wtapia się w otoczenie. Na górnej płaszczyźnie dachu umieszczone są niewidzialne z boku kolektory słoneczne dające energię niezbędną do działania ekspozycji. Oprócz kolektorów znajdują się tam świetliki dające równomierne oświetlenie ruin. Świetliki pokryte są środkiem fotochromowym regulującym natężenie wpadającego światła. Na słupach podtrzymujących dach, dookoła całego obiektu, zakłada się wykonanie podestu dla zwiedzających, zawieszono na wysokości około 2 m nad poziomem terenu. Wejścia na podest, w formie pochylni, znajdują się w pobliżu kaplicy na kierunku głównego dojścia do obiektu od przystani promowej. W wewnętrznej płaszczyźnie podestu znajdują się roletowe zamknięcia zawieszono przy dachu i pod podestem. Będą one używane w przypadku wyjątkowo niekorzystnych warunków atmosferycznych. Takie rozwiązanie zapewnia złagodzenie warunków temperaturowo-wilgotnościowych w obrębie budowli, a jednocześnie nie powoduje zbyt drastycznych zmian tych parametrów jak

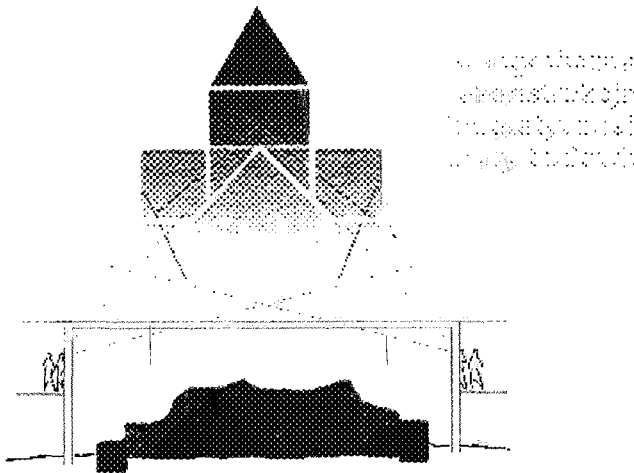
przy zastosowaniu stałego zamknięcia obiektu. Uzyskałoby się wtedy sezonową powierzchnię wystawienniczą i wyeliminowane zostałyby wpływy atmosferyczne, ale pojawiłaby się konieczność utrzymywania przy pomocy klimatyzatorów stałej temperatury i wilgotności w obrębie całej struktury, co pociągałoby wzmożony przepływ wody z gruntu przez mury [33] oraz duże zapotrzebowanie na energię elektryczną, szczególnie w okresie jesienno-zimowym, kiedy destrukcyjne procesy związane z kondensacją pary wodnej byłyby szczególnie wzmożone. Dodatkowo powstałby wielkogabarytowy twór całkowicie obcy w tym krajobrazie.

W przypadku wykonania jedynie zadaszania, pod podestem oraz pod płaszczyzną dachu planuje się umieścić niezbędne sztuczne oświetlenie ruin. Spód dachu ma zostać pokryty taflami szkła organicznego, na których umieszczony jest hologram – trójwymiarowy obraz rekonstrukcji pałatium i sanktuarium. Obraz ten byłby czytelny z podestów wokół ruin i pokazywałby zwiedzającemu rzeczywistą wielkość i kształt zespołu. Trójwymiarowy realny obraz byłby widoczny ponad dachem, poza jego fizyczną płaszczyzną. Hologram stanowiłby swoistą rekonstrukcję obiektu, a przedstawienie konkretnej fazy obiektu powinno być oparte o najnowsze badania archeologiczno-architektoniczne. Możliwe jest również pokazanie obiektu w różnych jego fazach, poprzez stworzenie kilku obrazów i odpowiednie komputerowe nimi sterowanie. Możliwe jest dzisiaj prezentowanie na hologramach nie tylko etapów budowy ale i ewolucji jej kształtów a nawet, w oparciu o zdobycze archeologii doświadczalnej, pokazanie zwiedzającemu techniki budowlanej, rekonstrukcji obrzędów odbywających się na terenie obiektu, czy wręcz całej wizyty cesarza Otto III w Lednicy. Zakłada się również utworzenie ponad dachem optycznego obrazu rekonstruowanego obiektu, przy pomocy laserów, z zachowaniem tego samego programu co przy ekspozycji hologramów wewnątrz zadaszania. Byłby on widoczny z terenu wyspy oraz z lotu ptaka. Cała niezbędna aparatura umieszczona byłaby wewnątrz konstrukcji dachu. Ponadto wzbogacając powyższą aparaturę w rzutniki cyfrowe oraz odpowiedni system nagłośnienia możliwa byłaby multimedialna prezentacja muzealna w formie wyświetlanych obrazów, filmów oraz animacji pokazujących życie ówczesnych mieszkańców, sposoby używania przez nich narzędzi czy broni itp. Wszystko to zapisane w formie cyfrowej na płytkach CD-ROM lub DVD.

Tego typu ekspozycja polegałaby na uruchamianiu z centralnego komputera, praktycznie natychmiast, programu odpowiedniej prezentacji w zależności od okoliczności lub zainteresowań zwiedzających. Specjalny zespół, złożony z programistów, muzealników i archeologów, mógłby tworzyć okresowo nowe wirtualne wystawy, niekoniecznie związane bezpośrednio z tym obiektem, ale w swej wymowie pasujące do takiej scenografii. Zapisane na płytkach CD-ROM lub DVD prezentacje lub ich fragmenty, nadające się do odtworzenia na coraz powszechniej obecnych komputerach multimedialnych, mogłyby być

rozprowadzane, dla celów dydaktycznych, w szkołach lub po prostu sprzedawane licznym zwiedzającym.

Przedstawiona koncepcja zadaszania i stworzenia pierwszego multimedialnego muzeum, w minimalnym stopniu ingeruje w substancję zabytkową oraz w niewielkim stopniu zmienia krajobraz. Łączy również elementy historii z techniką XXI w., co stanowi dodatkowy element dydaktyczny, szczególnie dla młodego widza. Powyższa koncepcja, pomimo pochlebnych opinii różnych gremiów, niestety dotychczas nie doczekała się realizacji i istnieje tylko jej wersja prezentacyjna na CD-ROM dostępna w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków s.c. w Toruniu.

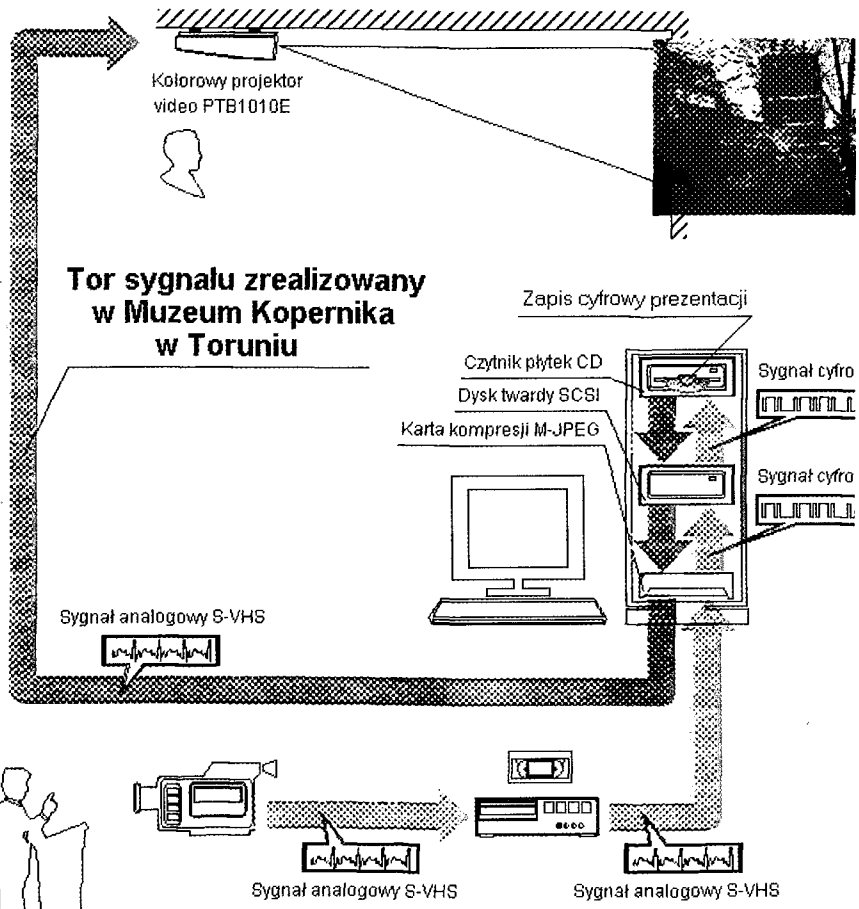


Ryc.3.4 Koncepcja holograficznej rekonstrukcji bryły budowli

3.3.2. Multimedialna prezentacja w Muzeum Kopernika w Toruniu

W ostatnim czasie, w Muzeum Kopernika, przeprowadzona została modernizacja prezentacji obrazującej życie i idee Mikołaja Kopernika na tle rozwoju miasta Torunia. W pierwotnej formie, jak już wspomniano wcześniej, był to pokaz oparty o wykorzystanie technik analogowych. Z inicjatywy Muzeum Kopernika w Toruniu w roku 1996 unowocześniono pokaz. Poniższa plansza ukazuje schematycznie zmiany techniczne tego widowiska.

Prezentację oparto o film wykonany w technice analogowej w kilku wersjach językowych, wykorzystując różne historyczne dokumenty oraz zbiory znajdujące się w muzeach toruńskich. Wykorzystano różne techniki filmowania tych obiektów oraz odpowiednio nagrane efekty dźwiękowe. Całości dopełnia narracja oraz sekwencje filmowe z dzisiejszego Torunia. Pozostawiono makietę średniowiecznego Torunia z poprzedniej prezentacji z tym, że do oświetlania poszczególnych miejsc, o których opowiada film, zastosowano nowe systemy



Ryc.3.5 Schemat aparatury do projekcji widowiska w Muzeum Kopernika w Toruniu

sterowane cyfrowo w formacie MIDI. Całości dopełnia analogowy projektor RGB, do którego doprowadzany jest sygnał S-VHS z urządzenia odtwarzającego. Prezentację w postaci analogowej w formacie BETACAM oraz oświetlenie przygotowała firma TAT-Elektronic z Torunia. Za pomocą zastosowanego projektora możliwe są dwie drogi odtwarzania prezentacji. Pierwsza, z magnetowidu S-VHS z konwencjonalnej kasyety S-VHS. Druga, to prezentacja w pełni cyfrowa, odtwarzana przy pomocy komputera wyposażonego w napęd CD-ROM i odpowiednią kartę zawierającą sprzętowy dekodery M-JPEG nagranych tą techniką, uprzednio przygotowanego techniką analogową, na płycie CD-ROM filmu. Zastosowanie kompresji M-JPEG i połączeń SCSI było konieczne ze względu na dużą rozdzielczość obrazu, 800x600 linii, i wymóg zapewnienia dostatecznie dużej cyfrowej przepustowości systemu w trakcie

odtworzenia prezentacji. Dołączenie tła muzycznego i narracji do filmu spowodowało, że zredukowanie ilości danych stało się absolutną koniecznością. Zapisanie pojedynczego obrazu wymaga co najmniej 0,700 MB pamięci na dysku. Stworzenie efektu ruchu oznacza odtwarzanie 15 do 25 obrazów na sekundę. W ciągu sekundy ilość danych wzrasta do 20 MB. Daje to wyobrażenie o wymaganiach odnośnie całego systemu komputerowego. Dysk CD-ROM wystarczyłby na niewiele ponad pół minuty prezentacji. W związku z tym, gdyby nie zastosowanie odpowiednich metod kompresji to ok. 20 minutową prezentację w Domu Kopernika należałoby przygotować na 40 płytkach CD-ROM, a to wszystko należałoby pomnożyć przez osiem wersji językowych. Wymagałoby to zmieniania w trakcie prezentacji płytek CD-ROM, a to z kolei powodowałoby przerwy niemożliwe do zaakceptowania. Natomiast zastosowanie napędu DVD (w 1996 roku) i nagranie całości na tym nośniku znacznie przekroczyłoby cały budżet tego zamierzenia. Problemem jest nie tylko miejsce na dysku ale i wymagana prędkość transmisji danych przy odtwarzaniu z dysku na projektor. W celu zapewnienia możliwej do przyjęcia płynności odtwarzania filmu prędkość transmisji powinna być rzędu 1,5 Mbit/sek. Zarówno dyski twarde jak i tym bardziej napędy CD-ROM są jeszcze dzisiaj za wolne. Jedynym rozwiązaniem jest zmniejszenie ilości transmitowanych danych, a więc kompresja i późniejsza ich dekompresja. W dodatku dekompresja sprzętowa, która praktycznie nie zużywa czasu na samą siebie. W zastosowanej aparaturze wykorzystano redukcję danych w tzw. systemie rozszerzonym (extended system). Ten rodzaj kompresji ma szczególne znaczenie w przypadku zastosowań multimedialnych, w których wymagana jest duża rozdzielczość obrazu ze względu na duże wymiary ekranu, na którym są prezentowane. Wybrany system, nawet przy współczynniku kompresji 20:1 powoduje, że straty informacji na ekranie są prawie niezauważalne. W związku z tym, zaopatrując komputer w układ sprzętowej dekompresji M-JPEG uzyskano dostatecznie ostry i płynny obraz, dobre odwzorowanie kolorów i możliwość wmontowania ścieżki dźwiękowej (na poziomie standardu płyty kompaktowej), co obok elementów wizualnych i świetlnych bardzo podnosi jej atrakcyjność. W wyniku szeregu prób dobrano stopień kompresji taki, aby całą, około 20 minutową prezentację, zmieścić na standardowym krążku CD-ROM. Wszystkie te przedsięwzięcia nie zapewniały jednak dostatecznej jakości prezentacji przy odtwarzaniu bezpośrednio z napędu CD-ROM (rok 1996). Dlatego każdorazowo przed prezentacją należało przekopiować dane z płytki CD-ROM na dysk twardy i dopiero z niego odtwarzać wybraną wersję prezentacji.

Zrealizowany w Muzeum Kopernika cyfrowy system prezentacji, przy wykorzystaniu standardowego oprogramowania Windows (szczególnie Windows'95) bądź specjalnych programów prezentacyjnych (typu „show”), umożliwia przeprowadzanie wszelkiego rodzaju pokazów, na które składają się różnego rodzaju filmy, animacje, obrazy statyczne i dźwięki.

Podsumowując, przy realizacji toru wyświetlania cyfrowego filmu w Muzeum Kopernika w Toruniu, dzięki rozwiązaniu szeregu problemów natury technicznej, które dzisiaj wobec skokowego rozwoju sprzętu multimedialnego i komputerowego przestały takimi być, udało się przy stosunkowo niskich kosztach zrealizować prezentację, która do dnia dzisiejszego jest po kilka razy dziennie przedstawiana licznie odwiedzającym Toruń turystom i ciągle stanowi dużą atrakcję tego muzeum. Możliwe jest również, w oparciu o wykonany już cyfrowy zapis, w łatwy sposób przygotowanie wydawnictwa na CD-ROM-ie.

4. ZAKOŃCZENIE

W pracy nie wyczerpaliśmy wszystkich aspektów zastosowania komputera w praktyce konserwatorskiej i muzealnej. Zaledwie zasygnalizowaliśmy kierunki. Powyższa praca powstała w oparciu o badania autorów początkowo w Instytucie Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK, a następnie od 1995 roku była kontynuowana w Pracowni Badań i Konserwacji Zabytków w Toruniu przy pomocy finansowej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Komitetu Badań Naukowych, Instytutu Archeologii i Etnologii UMK, Instytutu Filologii Polskiej UMK, Muzeum Narodowego w Poznaniu i na Wawelu oraz środków własnych. Autorzy w tym miejscu dziękują tym wszystkim, którzy wnieśli wkład bezpośrednio lub pośrednio w rozwój wideografii komputerowej m.im. prof. dr Bogumile Roubie, prof. dr Józefowi Flikowi z UMK, mgr Alinie Skibińskiej z PBiKZ s.c., magistrantom Katarzynie Wantuch i Monice Bachulskiej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Ciabach, S. Skibiński, K. Wieczorkowski, *Komputerowy system informacji naukowo-konserwatorskiej KONZAB. Baza danych o materiałach i sposobach konserwacji zabytków*. Projekt. UMK 1983. Raport nr 36 Maszynopis; J. Ciabach, S. Skibiński, K. Wieczorkowski, *System informacji naukowo-konserwatorskiej KONZAB*, Ośrodek Informacji PP PKZ, Warszawa 1981.
- [2] K. Wieczorkowski, T. Jaśniewski, *KONZAB – system informacji naukowo-konserwatorskiej dla mikrokomputerów personalnych*, [w:] *Naukowe podstawy ochrony i konserwacji dzieł sztuki oraz zabytków kultury materialnej*, pod redakcją A. Strzelczyk i S. Skibiński, UMK 1993, s. 403-414.

- [3] K. Wieczorkowski, J. Wiśniewski, B. Żurawski, *The computer network resources for universities in Poland*, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke, Magdeburg 1983, 27, zeszyt 8, s. 95-97.
- [4] *Schemat dokumentacji konserwatorskiej zabytków ruchomych*, praca zbiorowa, Warszawa 1983, ODZ BMiOZ seria B tom LXXII.
- [5] S. Skibiński, L. Jagodziński, *Ewidencyjna baza danych o zabytkach budownictwa, wspomagająca badania naukowo-historyczne i architektoniczno-konserwatorskie dla potrzeb ochrony środowiska kulturowego IGLESS* wer. 2, [w:] *Przegląd Regionalny* nr 8, Regionalny Ośrodek Studiów i Ochrony Środowiska Kulturowego w Toruniu, 1993, s. 45-53.
- [6] A. Skibińska, L. Jagodziński, S. Skibiński, *Komputerowy program dokumentacji stratygraficznej zabytków ruchomych*, „Ochrona Zabytków” 1991 nr 4, s. 290-295.
- [7] J. Van Aspern de Boer, *Reflectography of paintings using on infaredtelevisin system*, „Studies in Conservation”, 14, 3, s. 96, 1969.
- [8] F. Maringer, K. Nicolaus, *Infrarotuntersuchung von Gemalden*, „Maltechnik”, 82, 2, s. 73, 1976.
- [9] J. Van Aspern de Boer, *A note of the use on inproved infrared vidicon for reflectograph of ainting*, „Studies in Conservation”, 19, 2, s. 97, 1974.
- [10] *Prospekt firmy HAMAMATSU: C2741 Compact high – performance video camera for industrial applications with builtin contrast enhancement circuit*, Hamamatsu Chotonics K.K., System Division. 1988.
- [11] J. Asmus, R. Bernstein, P. Hudson, *Computer Image Enthancement in Planning Conservation Measures*, ATTI – Proceedings, 1st International Conference on Non – Destructive Testing in Conservation of Works of Art, Roma, 27 29 Ottobre 1983, IV/3.
- [12] A. Aldrovandi, M. Matteini, A. Moles, D. Betani, M. Cettca, P. Poggi, P. Tiano, *Diversificazione optica di stesure pitto-riche cromaticamente omogenee mediante elaborazione multispettrale (MIPP)*, 2nd International Conference on Non-Destructive Testing, Microanalitical Methods and Environment Evaluationfor Study and Conservation of Worksof Art, Perugia 17 – 20 Aprile 1988, I/4.
- [13] F. Zezza, *Compurized Analysis of Stone Decay in Monuments* Proceedings, 1st Internationale Symp. on Mon. Cons. Bari 1989, s. 248.
- [14] T. Widła, J. Skonieczny, J. Starzyczny, *Wykorzystanie telewizji przewodowej w oględzinach obrazów*, „Ochrona Zabytków” 1979, t. 2, s. 136-138.
- [15] *Informacja obrazowa*, praca zbiorowa, WNT 1992, s. 338-369 oraz S. Skibiński, J. Jagodziński, *Zastosowanie komputerowej multispektralnej Videografii do badań zabytków*, Ochrona i konserwacja, Warszawa 1997, nr 4, s. 17-46.
- [16] W. Felhorski, W. Stanioch, *Kolorymetria trójchromatyczna*, WNT 1973 s. 72.
- [17] J. Ciabach, St. Kamiński, S. Skibiński, *Wpływ promieniowania nadfioletowego na parametry barwy niektórych farb akrylowych*, „Ochrona Zabytków” 1979, t. 2, s. 139-143.

- [18] Polska Norma 65 N 01252, *Liczbowe wyrażenie barw*.
- [19] Polska Norma 65 N 01253, *Metody wyznaczania barwy*.
- [20] PN-70 C 04425, *Pigmenty i wypełniacze do wyrobów lakierowych, wyznaczanie białości*.
- [21] Materiały pokonferencyjne „Color and cultural Heritage 95”, Varna 12-14. października 1995, wyd. Magenta Sofia 1997.
- [22] L. Jagodziński, S. Skibiński, *Zastosowanie wybranych technik komputerowych w muzeum, Cześć. I. Metody diagnostyki i analizy komputerowej dzieł sztuki*. Muzealnictwo, 1997, nr 39, 88-99.
- [23] J. Flik, *Portret Heweliusza z Gdańska i Oksfodu – studium warsztatu malarzkiego „Ochrona Zabytków”*, 1995, s. 175.
- [24] B. Roubá, M. Bachulska, S. Skibiński, L. Jagodziński, *Investigation on Computer Simulation of Varnish Removal from Easel Paintings*, Materiały pokonferencyjne „Color and cultural Heritage 95”, Varna 12-14. października 1995, wyd. Magenta Sofia 1997, 19-23.
- [25] S. Skibiński, *Problematyka konserwatorska budowli kultury Nazca*, 1997, CD-ROM ISBN 83-908100-0-X.
- [26] *Konserwacja fasady Starego Ratusza w Poznaniu*, praca zbiorowa, 1997, CD-ROM ISBN 83-908100-1-3.
- [27] S. Skibiński, L. Jagodziński, A. Skibińska, *Multimedialne techniki dokumentacji zabytków*, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki”, nr 2-4, s. 33-37, Łódź 1996.
- [28] Zobacz: strona internetowa www.cc.uni.torun.pl/ksiegarnia.
- [29] Zobacz: strona internetowa www.mnw.art.
- [30] *Ostrów Lednicki*, praca zbiorowa pod redakcją K. Żurowskiej, wyd. Gutenberg, Kraków 1994.
- [31] M. Konopka, *Pilne zadanie konserwatorskie*, „Ochrona Zabytków”, nr 1, Warszawa 1993.
- [31] S. Skibiński, P. Koziej, *O potrzebie rewaloryzacji wczesnośredniowiecznej rotundy i palatium na Ostrowie Lednickim*, „Ochrona Zabytków”, z. 1, s. 20-76, ODZ, Warszawa 1993.
- [32] S. Skibiński, L. Jagodziński, *Metoda badań i monitorowania stanu wilgotności murów*, „Ochrona i konserwacja zabytków” nr 6, s. 33-44, OO i KZ, Warszawa 1997.