

# Rudolf Kozłowski

---

## Mikrostereoradiografia : nowa metoda badania dzieł sztuki

---

Ochrona Zabytków 9/4 (35), 248-256

---

1956

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

## MIKROSTEREORADIOGRAFIA

### Nowa metoda badania dzieł sztuki

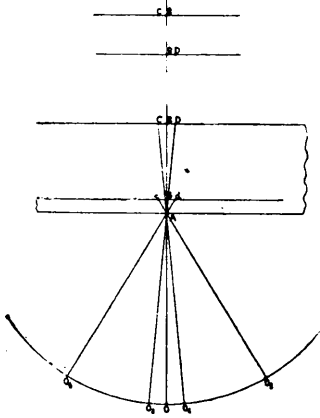
RUDOLF KOZŁOWSKI

W czasie badania obrazu Leonarda da Vinci „Dama z gronostajem“, przeprowadzonego w pierwszych dniach lutego 1952 r.<sup>1</sup> przyszła mi na myśl nowa metoda zdjęcia rentgenowskiego. Metoda ta polegająca na bardzo przesadnym kątowym odrzutowaniu przestrzennym, o charakterze stereograficznym, powodującą mikroskopowe zwiększenie wyłącznie trzeciego wymiaru, tj. grubości tworzyw malarskich, potrzebna mi była do dokładnego przesłedzenia na tym obrazie kolejnych, niezwykle cienkich warstewek zaprawy i farb. Obliczenie za pomocą wykresu graficznego (ryc. 251) przekonało o możliwości takiego zdjęcia rentgenowskiego. Pierwsze udane próby, jak również opracowanie metody wykonałem w listopadzie 1952 r. na obrazach ze Zbiorów Sztuki na Wawelu, gdyż 25 czerwca tegoż roku portret „Damy z gronostajem“ został przewieziony do Warszawy na wystawę poświęconą pamięci Leonarda. Po powrocie obrazu 4 lutego 1955 do Krakowa, można było wkrótce również i z tego obrazu wykonać prześwietlenie nową metodą, która w sposób niezwykle ciekawo uwypukliła strukturę materiałową i sposób wykonania tego dzieła sztuki.

**C h a r a k t e r y s t y k a r ó ż n y c h m e t o d s t e r e o g r a f i i r e n t g e n o w s k i e j.** Powszechnie stosowana stereoradiografia w medycynie polega na równoległym przesunięciu lampy rentgenowskiej, przeciętnie w odstępnie normalnego rozstawu źrenic u człowieka. Metoda nie stosowana w medycynie i rzadko do innych celów, polega na zdjęciu kątowym, to jest na takim dwukrotnym ustawieniu ogniska lampy rentgenowskiej w stosunku do prześwietlanego obiektu, żeby promienie wychodzące z poszczególnych stanowisk (baz) ogniska padały zbieżnie pod kątem na obiekt. Zaletą kątowej metody jest między innymi i tego rodzaju właściwość, że środkowy promień ogniska lampy wypada w środku zdejmowanego fragmentu, czyli że obraz nie zostaje przesunięty w bok na drugim radiogramie w stosunku do pierwszego, a tym samym zwięźony dla oglądania stereoskopowego, jak to ma miejsce przy zdjęciu równoległym. Dlatego też taki schemat pozwala na wykonanie stereoradiografii przesadnej, tj. na przesadne przesunięcie lampy rentgenowskiej w stosunku do położenia jej przy pierwszym zdjęciu.

**C h a r a k t e r y s t y k a m e t o d y m i k r o s t e r e o r a d i o g r a f i c z n e j.** Odrzutowanie przestrzenne, które zastosowałem w listopadzie 1952 r., rentgenując obrazy wawelskie, polegało na dwóch modyfikacjach zdjęć kątowych, mianowicie na przesunięciu lampy zdecydowanie większym niż normalny rozstaw źrenic — przeciętnie o 30 cm i na przesunięciu niezwykle mocno przesadzonym, przeciętnie o 90 cm, w obu wypadkach przy odległości ogniska od obrazu przeciętnie 75 cm. Przy pierwszym układzie przeciętny kąt padania promieni rentgenowskich na powierzchnię obrazu wynosi  $78^{\circ}28'$ , zaś przeciętny kąt między środkowymi promieniami wychodzącymi z dwóch stanowisk  $23^{\circ}04'$ , przy drugim układzie przeciętny kąt padania promieni zmniejszy się do  $53^{\circ}08'$ , natomiast przeciętny kąt między promieniami środkowymi powiększy się do  $73^{\circ}44'$ . Tę ostatnią odmianę zdjęcia kątowego nazwałem

<sup>1</sup> R. K o z ł o w s k i, Aneks. „Rozprawy i sprawozdania”, 1952, Muzeum Narodowe w Krakowie. Kraków 1954, str. 31—41.



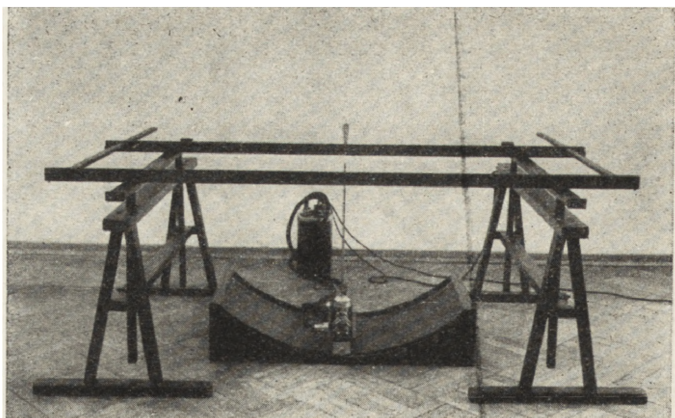
Ryc. 251. Przy zdjęciu rentgenowskim zwykłym środkowy promień lampy rentgenowskiej przechodzi prostopadłe przez obraz na desce grubości AB w punktach A na malowidle i B na rewersie. Stereoradiografia kątowna normalna została wykonana ze stanowiska prawego  $O_1$  i lewego  $O_2$ . Jeżeli błona rentgenowska będzie ułożona bezpośrednio na rewersie obrazu, punkt B jako styyczny z błoną zostanie odrzucony w tym samym miejscu na obu radiogramach, natomiast punkt A na prawym zdjęciu wypadnie w punkcie C (ryc. C), na lewym — w punkcie D (ryc. b). Odcinki CB i DB w oglądzie stereoskopowym wyrażają grubość deski AB przy odległości ogniska od obrazu OA, kącie między promieniami środkowymi  $O_2AO_1$  i bazie  $O_1O_2$ . Stereoskopowe wrażenie grubości identyczne do AB można uzyskać rentgenując obraz, którego deska posiada grubość tylko Ab, jeżeli zastosuje się odpowiednie zwiększenie bazy, a tym samym zwiększenie kąta między promieniami środkowymi, czyli gdy wykona się stereoradiografię kątowną przesadną. Jeżeli punkty C i D

odrzućmy prostopadłe na rewers drugiego obrazu w punktach c i d, otrzymamy  $cd = CD$ . Linie przeprowadzone przez punkty c i A, jak również d i A przecinają łuk koła, po którym porusza się ognisko lampy rentgenowskiej w punktach  $O_3$  i  $O_4$ , które są stanowiskami dla zdjęcia rentgenowskiego stereograficznego kątownego przesadnego. Ponieważ na poszczególnych radiogramach z obu zdjęć  $cb = CB$  i  $db = DB$  wrażenie stereoskopowe jest  $Ab = AB$ , czyli, że stereoskopowe powiększenie Ab zwiększyło się razy  $AB : Ab$ .

mikrostereoradiografią<sup>2</sup>. Wyniki eksperymentów przekonały mnie, że najlepszą metodą zdjęć rentgenowskich zabytków sztuki w zasadzie jest stereografia kątowna normalna lub przesadna, natomiast do zdjęć warstw szczególnie cienkich — mikrostereografia.

Stereoskopia i stereografia kątowna stosowane są w lupach i mikroskopach stereoskopowych, gdzie tego rodzaju układ wynika z konieczności technicznej. Kątowe zdjęcia stosuje się również dla zwiększenia plastyki w stereografii oddalonych przedmiotów, które zdejmuje się w ten sposób, że po wykonaniu pierwszego zdjęcia aparat fotograficzny przenosi się w bok nieraz na znaczną odległość i wykonuje drugie zdjęcie z tej samej, jak za pierwszym razem odległości od zdejmowanego obiektu. Stereoradiografia kątowna normalna lub trochę przesadzona założona jest na tej samej zasadzie. Istotna jej różnica polega na tym, że nie zdejmuje się obiektywami, lecz prześwietla, to znaczy rzutuje cień przedmiotu na błonę ustawioną poza obiektem. Jeżeli stereoradiografia kątowna zwykła lub nieco przesadzona założona jest na tej samej zasadzie co stereografia kątowna obiektywowa, to metoda prześwietlania kątownego bardzo przesadnego mikrostereograficznego, posługująca się niezwykle ukośnym rzucaniem promieni rentgenowskich na powierzchnię obrazu, nie ma już nic wspólnego z normalnie stosowaną stereografią, chociaż się z niej wywodzi. Poszczególne zdjęcia stereograficzne obiektywowe wykonane pod kątem bardzo dużym są całkowicie różne, a więc niemożliwe do złączenia w oglądzie stereoskopowym. W takich warunkach wykonane zdjęcia rentgenowskie warstw cienkich, powodujące dwustronne przestrzenne odrzutowanie wszyst-

<sup>2</sup> Rentgenolog dr Zygmunt Kopera, po zapoznaniu się z zasadami opracowanej metody orzekł, że sposób ten nie jest już stereografią, ale przestrzennym odrzutowaniem. Ze względu na bardziej znany termin jak stereoskopia-stereografia, pozostają przy tej nomenklaturze, jak również i z tego powodu, że sposób ten wywodzi się ze stereografii. Dla zaznaczenia dużego powiększenia trzeciego wymiaru, proponuję termin, mikrostereografia rentgenowska, inaczej mikrostereoradiografia.



Ryc. 252. Na kobyłkach ruchomych, z regulacją wysokości, leżą listewki z felcami. Prostopadłe do nich listewki z podziałkami są na stałe umocowane do pierwszej listewki z felcem, przez drugą przechodzą luźno. Dźwignia z urządzeniem ekscentrycznym na dalszej listewce z felcem unieruchamia ramę, którą wraz z obrazem można przesuwac na kobyłkach. Rentgen kołpakowy Müller 50 kV, 10 mA, w odpowiednim korytku posuwającym się po przewodnicy, ustawiony na „0” podziałki kątowej. Na okienku lampy założony pręt wskazuje kierunek środkowego promienia.

kich tkwiących wewnątrz tworzyw malarskich najdrobniejszych ziarenek absorbujących promienie Rentgena, możliwe są do oglądania stereoskopowego na skutek przezroczystości obrazu.

R ó ż n e s c h e m a t y u r z ą d z e ń d o z d j ę c k ą t o w y c h. Możliwe są dwa zasadnicze sposoby stereoradiografii kątowej. Pierwszy polega na przesunięciu lampy rentgenowskiej wzdłuż łuku koła, którego promieniem jest odległość ogniska od prześwietlanego obiektu. Drugi sposób polega na wahadłowym wraz z obiektem ruchu kasety na jej osi podłużnej, przy nieruchomym ustawieniu lampy rentgenowskiej. Możliwe jest również wykorzystanie obu sposobów na raz. Poza tym oba sposoby mogą mieć układ obiektu wraz z kasetą nad albo pod aparatem rentgenowskim. Pierwszy sposób ma tę niedogodność, że musi mieć stałą odległość ogniska od obiektu, natomiast tego rodzaju zaletę, wynikającą z nieruchomego a zwłaszcza poziomego ułożenia obiektu, która zezwala na wykonanie zdjęć mikrostereoradiograficznych z każdego miejsca nawet największego obrazu. Pierwszy sposób z odmianą poziomego ułożenia obiektu nad aparatem rentgenowskim ma jeszcze tę zaletę, że umożliwia użycie lekkich tekturowych kaset, które z podkładką z bibułki japońskiej kładzie się bezpośrednio na obrazie. Drugi sposób może wprawdzie mieć dowolnie regulowaną odległość ogniska od obiektu, jednakże niemożliwe jest wykonanie zdjęcia typowo mikrostereoradiograficznego z obrazu bardzo dużych wymiarów a zwłaszcza z jego brzegów<sup>3</sup>. Zarówno przy

<sup>3</sup> W periodyku „Soobszczenia Gosudarstwiennogo Ermitaża” nr VII, Leningrad 1955, T. S i l c z e n k o w notatce pt. Stereoskopičeskieje rentgenosnimki kartin, podaje jeden ze sposobów kątowej stereoradiografii. Jak wynika z reprodukowanego modelu (składającego się z poziomego, ruszającego się na osi podkładu na obrazy z ukrytymi wewnątrz do zmiany kasetami, w ustawieniu nad aparatem rentgenowskim) można na nim wykonać, poza normalnymi zdjęciami kątowymi, również nieco przesadnie, pośrednie między stereoradiografią normalną a przesadną. Obliczenie za pomocą kątomierza wskazuje, że na podanym aparacie możliwe jest uzyskanie kąta tylko do 30°, dlatego też niemożliwe jest uzyskanie mikro-



Ryc. 253. Aparat rentgenowski przesunięty za pomocą korbowodu na prawe stanowisko. Wskazówka pokazuje  $38^\circ$ , czyli że kąt między promieniami środkowymi wyniesie  $76^\circ$ . Na obrazie leży lekka tekturowa kasetka dla zdjęcia prawego.

pierwszym sposobie (przesunięcie lampy), lub drugim (przechylenie obiektu wraz z kasetą), jeżeli chodzi o to, żeby obraz stereoskopowy widziany był równoległe do oczu, ruchy lampy (względnie obiektu z kasetą) muszą być jednakowe w prawą i lewą stronę w stosunku do ułożenia zerowego, tj. do ułożenia takiego, w którym promień środkowy trafia prostopadłe w sam środek błony.

Przedstawiony aparat własnego pomysłu został dostosowany do łatwego prześwietlenia każdej wielkości zabytku, przy poziomym ponad aparatem rentgenowskim ułożonym obiekcie i kasecie (ryc. 252). Urządzenie składa się ze stelaża w kształcie łukowato skonstruowanej prowadnicy, po której porusza się umocowany w korytku przenośny kołpakowy aparat rentgenowski i osobnego ruchomego dającego się regulować rusztowania, na którym zamontowuje się obiekt. Po umocowaniu obiektu na sprzężonych listewkach z felcami, jak również położeniu na nim lekkiej tekturowej kasety (wym.  $30 \times 40$ )<sup>4</sup>, ustawia się lampę na najniższym odcinku łuku prowadnicy w usytuowaniu takim, żeby wskazówka korytka z aparatem rentgenowskim stała na zerze podziałki kątowej prowadnicy. Po nastawieniu obiektu wraz z kasetą za pomocą odpowiedniego przesunięcia sprzężonych listewek na rusztowaniu, aparat rentgenowski przesuwa się w jedną stronę łukowo podniesionej prowadnicy i unieruchamia zaciskiem śrubowym (ryc. 253). Przesunięcie dokonuje się za pomocą korbowodu nawijającego na walce linki nylonowe, umocowane do sprzężynowych amortyzatorów w korytku. Po dokonaniu zdjęcia i zmianie kasety aparat rentgenowski przesuwa się według podziałki symetrycznie na drugą stronę prowadnicy i wykonuje drugie zdjęcie. Przy tego rodzaju urządzeniu odległość ogniska od obiektu została określona na 73 cm. Maksymalne odchylenie ogniska w linii prostej od punktu zerowego 44,94 cm, czyli maksymalny stereoradiografii. Z drugiej publikacji tegoż autora — Rentgenostereografia kartin, tkaniej i drugih tonkich predmiotow, Restawracja i issledowanije chudożestwennyh pamiatnikow, Moskwa 1955 (w której to publikacji również podany jest ten sam aparat) — wynika, że zdjęcia stereoskopowe rentgenowskie wymiarów  $6 \times 6$  cm ogląda się za pomocą stereoskopu powiększającego.

<sup>4</sup> Do zdejmowania obrazów na spaczonych nierównych deskach lub rzeźb drewnianych zakłada się nad obiektem konstrukcję ramową z suwającą się w niej kasetą, którą się opiera na sprzężonych listewkach. Przy tego rodzaju zdjęciach należy regulować za każdym razem położenie kasety.

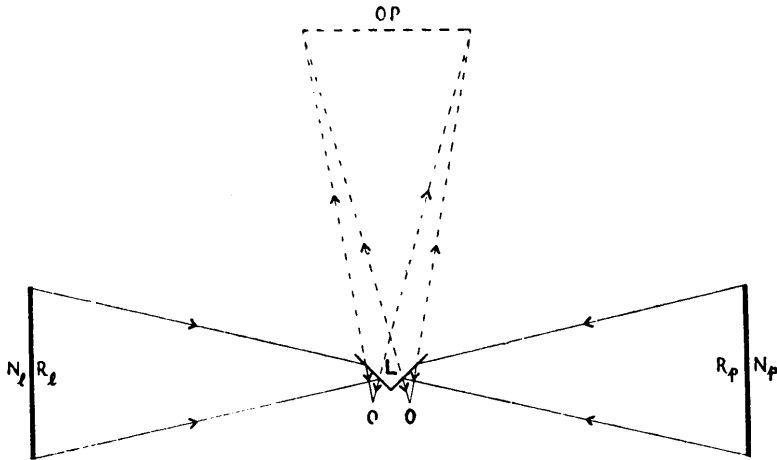
rozstaw „żrenic“ w linii prostej 89,88 cm, najmniejszy kąt padania promieni na powierzchnię obrazu  $52^{\circ}$ , największy kąt między dwoma środkowymi promieniami wychodzącymi ze stanowisk ogniska  $76^{\circ}$ . Ponieważ urządzenie to ze względów konstrukcyjnych nie mogło mieć większej bazy<sup>5</sup>, znaczne zwiększenie bazy, a więc i kąta między środkowymi promieniami, zostało dodatkowo uzyskane dzięki odpowiedniemu, symetrycznemu przechyleniu obiektu wraz z kasetą dokonywanemu za pomocą zmian wysokości poszczególnych kobyłek w stosunku do maksymalnie odchylonego ogniska. Uzyskało się w ten sposób zmniejszenie kąta padania promieni na powierzchnię obrazu do  $45^{\circ}$  i powiększenie kąta między promieniami środkowymi do  $90^{\circ}$ . (baza 103,22 cm). Dalsze zwiększenie kąta między promieniami środkowymi, które udało się uzyskać do  $100^{\circ}$  i więcej (kąt padania promieni  $40^{\circ}$ ), na skutek niewłaściwego padania promieni brzeżnych, między którymi kąty znacznie się różnią w stosunku do kąta między promieniami środkowymi, powoduje coraz gorszą widoczność partii dalszych od środka błony, jak również coraz większą nierównomierność naświetlenia z powodu dużej różnicy odległości ogniska od obu brzegów błony. Tego rodzaju zdjęcia nadają się do specjalnych przypadków i do małego wymiaru błon. Na aparacie tym możliwe jest również badanie radioskopowe na ekranie, które dokonuje się w ten sposób, że obiekt na sprzężonych listewkach ustawia skośnie na różniących się wysokościami kobyłkach i odpowiednio uregulowuje aparat rentgenowski. Przedstawiona konstrukcja wynika z tego faktu, że musiała zostać dostosowana do przenośnego aparatu rentgenowskiego, na którym nie można było dokonać żadnej innej stałej adaptacji.

**O g ł ą d a n i e n a s t e r e o s k o p i e.** Dokładne określenie powiększenia rentgenowskiego stereoskopowego jest trudne, gdyż nie każdy jednakowo ją odczuwa. Większe lub mniejsze zwiększenie głębi zależne jest poza tym od odpowiedniego ułożenia radiogramów w stosunku do lusterek na aparacie stereoskopowym, jak również od odpowiedniego zbliżenia oczu do lusterek. Wymiar głębi stereoskopowej uzależniony jest przede wszystkim od rodzaju stereoskopu. Największą plastykę uzyskuje się na aparatach systemu Wheatstone'a używanych w medycynie, gdzie negataskopy można ustawić równoległe i w pewnej odległości od lusterek usytuowanych do negataskopu pod kątem  $45^{\circ}$  (ryc. 254). Stereoskop używany przez mnie składa się z jednakowej wielkości negataskopów i lusterek, które umocowane są na zawiasach pod kątem względem siebie, tworząc rodzaj parawanu, którego kąty między dwoma lustrami i lustrami a negataskopami można do pewnego stopnia symetrycznie regulować (ryc. 255)<sup>6</sup>. Wprawdzie aparat stereoskopowy medyczny daje około dwa razy większą głębię, jednakże aparat kątowy ma tę zaletę, że na nim można widzieć cały obraz stereoskopowy bardzo blisko, co ma decydujące znaczenie przy studiowaniu najdrobniejszych szczegółów tworzyw malarskich<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Baza — odległość między dwoma stanowiskami ogniska.

<sup>6</sup> Zapoznanie się z tym znakomitym stereoskopem niezwykle przydatnym do celów konserwacji i naukowych badań zabytków, zawdzięczam niezwykłemu już chirurgowi dr Janowi Lorenzowi, który w r. 1950 po raz pierwszy w Polsce dokonał stereograficznego równoległego zdjęcia rentgenowskiego z dzieła sztuki, mianowicie z obrazu Matki Boskiej na Jasnej Górze, będącego wtedy przedmiotem mego naukowego badania. Jest to odmiana systemu Wheatstone'a nie publikowana w dziele L. P. Clerc, *Photography theory and practice*. London 1954.

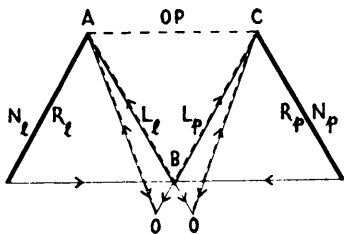
<sup>7</sup> Dokładne zmierzenie szczegółów powiększonej głębi stereoskopowej na normalnym stereoskopie wheatstone'owskim („stereoskiagraph”) można dokonać specjalnym dodatkowym urządzeniem stosowanym w fotogrametrii lub nawet zwykłą podziałką. Na stereoskopie kątowym można zmierzyć odległości, gdy się zastosuje lustro półprzezroczyste, lub ustawione na czarnym tle zwykłe szkła, poza którymi podziałka będzie widoczna.



Ryc. 254. System Wheatstone'a — Stereoskiagraph prof. dr A. Hasselwander'a. Na dwóch równoległych do siebie negatoskopach Np i Nl zakłada się odwrócone radiogramy stereoskopowe, prawy Rp i lewy Rl. Oczy OO widzą w lusterkach L odbicie radiogramów, które łączy się w obraz pozorny OP w odległości odpowiadającej odległości negatoskopów od lusterek. Zbliżenie radiogramów do lusterek obcina obraz pozorny. Przy zmniejszonej odległości między negatoskopami tylko małych wymiarów radiogramy można zobaczyć w całości.

Przy tego rodzaju stereoskopie dalekowidz może widzieć tylko przez okulary korygujące wzrok do normalnego dystansu.

W zasadzie sposób zdjęć rentgenowskich u z a l e ż n i o n y j e s t o d g r u b o ś c i o b i e k t u. Za pomocą normalnej równoległej albo kątovej zwykłej stereoradiografii doskonale można obserwować warstwy grubsze, jednakże warstewki minimalnej grubości, jak cienka zaprawa, cienkie warstwy farby widoczne są na obrazie oglądanym stereoskopowo jako zupełnie płaska, nie zaznaczająca grubości, błona, na której poszczególne warstwy zlewają się w jednej płaszczyźnie. Jedynie stereoradiografia kątova przesadna a zwłaszcza mikrosterioradiografia wyolbrzymiając plastykę pozwalają na rozdzielenie poszczególnych cienkich warstewek. Mikrosterioradiografia nie nadaje się jednak do przedmiotów i warstw grubszych, a zwłaszcza ułożonych swoją jednolitą podłużną masą prostopadle lub skośnie do patrzącego, gdyż jak wiadomo np. papieros zbliżony prostopadle do oczu nie da się zobaczyć w jednym obrazie i jeżeli zezując widzimy jeden jego koniec, to cały papieros wydaje się rozdwojony. Takie samo rozdwojenie występuje jeżeli oglądamy stereoskopowo fragmenty grubsze zdjęte



Ryc. 255. System kątovej. Dwa lustra Lp i Ll tej samej wielkości co negatoskopy Np i Nl ustawione jak parawan, tworzą trzy trójkąty równoboczne. Odwrócone radiogramy stereoskopowe Rp i Rl założone na odpowiadających negatoskopach odbite w lusterkach łączą się w obraz pozorny OP układający się według boku AC trójkąta ABC. Z tego dystansu obraz stereoskopowy wym. 40 × 30 cm można oglądać w całości. Zwiększenie kąta B i odpowiednie zmniejszenie kątów A i C powoduje zwiększenie głębi stereoskopowej; układ odwrotny powoduje zmniejszenie głębi.

metodą mikrostereoradiograficzną, na przykład gwoździka tkwiącego prostopadle lub skośnie w desce obrazu. Gwoździk taki będzie wyglądać jako dwa oddzielne, bardzo wydłużone kolce, które będą się ze sobą łączyły (przecinały) w tym miejscu, na które będziemy kolejno patrzyli. Występuje tu podobieństwo w proporcjach odległości w obu przytoczonych przykładach, mianowicie rozstawu źrenic w stosunku do odległości oczu od papierosa mocno przybliżonego i odległości między dwoma stanowiskami ogniska (np. 80 cm) w stosunku do odległości ogniska od obiektu (np. 73 cm). Poprawność obrazu zaczyna występować po oddaleniu przedmiotu od oczu lub obiektu od lampy rentgenowskiej, względnie zmniejszeniu wymiarów badanych przedmiotów. Z powyższego doświadczenia wynika, że przy jednakowej odległości ogniska od obiektu, odstęp między stanowiskami ogniska, względnie kąt wytworzony między promieniami środkowymi jest odwrotnie proporcjonalny do grubości zdejmowanego obiektu. Nie wynika jednak z tego, że nie można obserwować w sposób mikrosterEOSkopowy cienkich warstw na obrazie namalowanym na grubej desce, w której tkwią liczne gwoździe lub występują głębokie naprawki podobrazia. Wykonuje się wtedy zdjęcie mikrostereoradiograficzne wyłącznie dla obserwacji warstw cienkich. Grube podobrazie wygląda wtedy nie- niemożliwie chaotycznie i tu potrzeba pewnej wprawy, ażeby patrzeć wyłącznie na miejsca, o które nam chodzi, eliminując uwagę od fragmentów o większej grubości. Dla przestudiowania samego grubego podobrazia potrzebne jest drugie zdjęcie stereoradiograficzne kątowe, przeważnie nieco przesadne. Dlatego też nie powinno się przy badaniu dzieł sztuki posługiwać jakimś matematycznym schematem, jak to ma miejsce przy zdjęciach stereograficznych obiektywowych<sup>8</sup> i stereoradiografii medycznej<sup>9</sup>, gdyż w tym wypadku nie chodzi o wywołanie wrażenia rzeczywistej przestrzenności, lecz wręcz przeciwnie — o możliwie jak największe zdeformowanie trzeciego wymiaru na skutek jego wyolbrzymienia, powodującego wykrycie kolejności cienkich warstw, ich charakteru fizycznego i całej historii zmian, które pod wpływem czasu i zniszczeń zaszły na każdej z poszczególnych mikroskopijnych warstewek.

Utrudnienia występujące przy mikrostereoradiografii. Nieraz są trudności w prześledzeniu cienkich warstw, jeżeli takie występują na powierzchni nierównej, zwłaszcza jeżeli badana warstewka rozciąga się gdzieniegdzie a nie na całej powierzchni obrazu, względnie jeżeli warstewka farby nie wszędzie jest widoczna na skutek różnej absorpcji pigmentów na promienie Rentgena. W takich wypadkach może się zdarzyć pozorne przemieszczenie warstw, a mianowicie górna warstewka farby, znajdująca się w zakłębłości obrazu będzie wyglądała jako znacznie głębsza od spodniej warstewki w miejscu więcej wypukłym. Takie mylące przemieszczenia występują zwłaszcza wtedy, jeżeli w badanych miejscach nie ma innych wykrywalnych promieniami Rentgena porównawczych warstewek pod, względnie nad badaną farbą. Tego rodzaju przemieszczenia wynikłe z dużego powiększenia trzeciego wymiaru są jednak całkowicie zgodne z prawdziwym mikroskopowym, nie dostrzegalnym dla oka ich usytuowaniem w przestrzeni.

Do zilustrowania metody mikrostereoradiograficznej zostały użyte zdjęcia z obrazu Leonarda da Vinci „Dama z gronostajem“ (ryc. 256). Wprawdzie może więcej interesujące byłyby przykłady z obrazu kilkakrotnie przemalowanego, albo wykonanego na innym malowidle użytym jako podobrazie, względnie pokazanie fragmentu dwustronnie malowanego skrzydła ołtarzo-

<sup>8</sup> L. P. Clerc, op. cit.

<sup>9</sup> Dr med. E. Matuszek, Zarys techniki rentgenowskiej. Warszawa 1954, str. 178, 179.





Ryc. 256. Wycinek ze zdjęcia mikrosterioradiograficznego obrazu „Dama z grono-  
stajem” Leonarda da Vinci. Sygnatura na odwrociu w porównaniu do warstwy  
farby odległej o 4 mm została na skutek mikrosterioradiograficznego zdjęcia prze-  
sunięta w bok o 12 mm. (Oglądać należy za pomocą przegródki z nieślniącej  
tektury lub dykty długości ok. 60 cm., którą się ustawia między oboma zdjęciami  
i patrzy w ten sposób, żeby lewe oko widziało lewe zdjęcie a prawe — prawe  
zdjęcie. Po odpowiednim zaakomodowaniu oczu widzi się jedno stereoskopowe  
zdjęcie między dwoma przegródkami. Przy odpowiedniej umiejętności oglądania  
stereoskopowego można widzieć nawet bez przedziałki, lecz należy, patrząc w śro-  
dek między zdjęciami, w ten sposób ustawić oczy, jakby się patrzyło na nieskoń-  
czoność a nie na zdjęcie. Wtedy widzi się trzy zdjęcia, z których środkowe jest  
wyraźnie przestrzenne).

wego, posiadającego późniejsze przemalowania obrazów, jednakże portret „Damy z gronostajem“ ciekawy jest z powodu niezwyklej cienkości warstwy farby i zaprawy tak trudnej do wykrycia, oraz bardzo aktywnego z bieli ołowiowej wykonanego napisu na odwrociu, który tak bardzo przeszkadza przy normalnym zdjęciu rentgenowskim. Dotychczas wykonane radiogramy z portretu „Damy z gronostajem“ miały te słabe strony, że twarz dziewczyny była mocno zdeformowana napisem. Wprawdzie doskonale pomyślane zdjęcie obrotowe wynalezione przez prof. Bohdana Marconiego<sup>10</sup> (odmienne od systemów zdjęć warstwicznych stosowanych w medycynie, jak planigraf, tomograf i stratigraf) pozwala zatrzeć zarys napisu<sup>11</sup>, jednakże przy tak cienkiej desce (przeciętnie 4 mm) obrót wykonany przez cień napisu posiada mały promień, co powoduje za małe rozproszenie, a więc w miejscu napisu występuje silne lokalne rozjaśnienie, które zniekształca delikatne malowidło, a poza tym rysunek obrazu przy tego rodzaju zdjęciu, zostaje zawsze nieco zamazany. Mikrostereoradiografia pozwoliła na bardzo dokładne i wygodne przesledzenie malowidła za pomocą oddalenia napisu od warstwy farby i powiększenia grubości wszystkich warstw. Dokładne opisanie wyników mikrostereoradiograficznego zdjęcia z portretu „Damy z gronostajem“ przekracza ramy tej publikacji, która poświęcona jest wyłącznie opisowi samej metody, jednakże dla orientacji należy wymienić kilka najcharakterystyczniejszych rezultatów.

Zdjęcie dokonane zostało z odwrocia obrazu w następujących warunkach: odstęp ogniska od deski 73 cm, baza (odstęp między „żenicami“) w linii prostej 103,22 cm, kąt padania środkowego promienia na powierzchnię deski 45°, kąt między promieniami środkowymi 90°, aparat Müller, napięcie 50 kV, 10 mA, czas naświetlania 6,5', film „Foton“ 30×40.

Zdjęcia oglądane na negatoskopie stereoskopowym lustrzanym kątowym dały następujące najcharakterystyczniejsze wyniki: deska orzechowa przeciętnej grubości 4 mm otrzymała grubość ok. 12 cm (niektórzy odczuwają głębię na 15 cm i więcej), czyli że trzeci wymiar powiększył się około 30 razy<sup>12</sup>. Oddalenie warstwy farby od napisu o 12 cm stworzyło dogodne warunki do przestudiowania sposobu kładzenia farby na twarzy w miejscach zasłoniętych napisem przy normalnym zdjęciu. Najgrubsza warstwa farby wraz z zaprawą na powiece lewego oka osiągnęła wymiar ok. 6 mm, stąd wniosek, że właściwa grubość farby wraz z zaprawą w tym miejscu wynosi ok. 0,2 mm. Układ kanalików orzechowego drewna został doskonale zaznaczony dzięki różnorodnemu ich zorientowaniu wykrywalnemu na skutek wypełnienia kanalików białą ołowiową zaprawą, które w 30-krotnym powiększeniu wyglądają jak sierść w różnych kierunkach ułożona. Jednorodny, w całej grubości harmonijny układ warstwy farby karnacji świadczy wymownie o ręce jednego tylko mistrza i zaprzecza przypuszczeniu, jakoby twarz była wykończona przez kogoś z uczniów Leonarda<sup>13</sup>. Charakterystyczne poprzeczne, jasne smugi, które mylnie zostały określone przez Kazimierza Kwiatkowskiego<sup>14</sup>, jako ślady na desce od piły wypełnione zaprawą, okazały się ponad wszelką wątpli-

<sup>10</sup> B. M a r c o n i, *Rentgenografia obrazów, nowe polskie urządzenia i metody*, „Ochrona Zabytków”, Warszawa — Kraków 1949, nr 1, str. 25—30.

<sup>11</sup> K. Kwiatkowski, „La dame à l'hermine” de Leonardo da Vinci. Musée National de Varsovie, Ossolineum, Wrocław 1955.

<sup>12</sup> Na stereoskopie lustrzanym dr Hasselwandera stosowanym w medycynie przy normalnym ustawieniu dla wymiaru radiogramów 30×40, powiększenie wypadłoby ok 60×.

<sup>13</sup> K. Estreicher, „Portret damy z łąsiczką” Leonarda da Vinci. Uwagi w związku z prześwietleniem obrazu, „Biuletyn Historii Sztuki” 1952, nr 4.

<sup>14</sup> K. Kwiatkowski, op. cit.

wość śladami po wyszczerbionym narzędziu, którym szpachlowano<sup>15</sup> zaprawę z bieli ołowiowej. W powiększeniu mikrostereoradioskopowym smugi te są wyraźnie widoczne między zaprawą i warstwą farby, to znaczy że powstały na powierzchni warstwy gruntu, a nie na jego spodzie.

Zdjęcia z Leonarda pokazują, że podana metoda przydatna jest nie tylko do przesłedzenia przemalówek lub różnych strukturalnie warstw tworzyw malarskich, przytoczony przykład demonstruje, że możliwe jest badanie nawet tak ściślej jednorodnej i cienkiej warstwy jak zaprawa z bieli ołowiowej razem z farbą karnacji, która występuje na obrazie Leonarda. W porównaniu do niezwykle subtelnej warstwy farby malarstwa Leonarda, która w powiększeniu wygląda w strukturze jak jednorodna mgiełka, jakże inaczej wygląda na przykład, znacznie łatwiejsza do badania, warstwa farby Rembrandta. Fragment oświetlonej słońcem równiny ze strumykiem i mostem na „Pejzażu z M.łosiernym Samarytaninem“ wygląda jak fantastyczne kłębowisko różnie zorientowanych, nerwowych, szybkich, bardzo wyraźnych pociągnięć pędzla układających się kulisowo jedne za drugimi, tych które widzimy na obrazie, jak również i tych, które powstały w pierwszej fazie komponowania obrazu i są ukryte przed naszymi oczami.

Kilkuletnie doświadczenie nabyte przy różnego rodzaju zdjęciach rentgenowskich, wykazuje, że stereoradiografia kątowna przesadna i mikrostereoradiografia dają tak znacznie większe możliwości przy badaniu zabytków w porównaniu do zdjęć pojedynczych, że obecnie te ostatnie mają znaczenie tylko orientacyjne.

Niewątpliwie metoda ta znajdzie szerokie zastosowanie, zwłaszcza przy użyciu aparatów rentgenowskich o specjalnie miękkich promieniach, które pozwolą znacznie lepiej, od dotychczas stosowanych aparatów, wykrywać tworzywa malarskie o małym ciężarze atomowym<sup>16</sup>.

<sup>15</sup> R. Kozłowski, op. cit., str. 32.

<sup>16</sup> W czasie oddawania artykułu do druku dowiedziałem się od prof. B. Marcogniego, że istnieje notatka H. F. Scherwood, Research Laboratories, Eastman Kodak Company, pod tytułem: Stereoscope soft x ray examination of parchment antiphonaries, w miesięczniku „Technical Studies in the field of the fine arts”, April 1938, Harvard, Vol. VI, nr 4. Z ilustrowanej notatki można się dowiedzieć, że został skonstruowany miniaturowych rozmiarów aparat rentgenowski o bardzo niskim napięciu od 3—18 KV do wykonywania z pergaminów, papierów i tkanin mikroskopowych wymiarów zdjęć stereoskopowych kątowych do 15°. Wykonane w ten sposób dwa zdjęcia umocowuje się na szkiełku przedmiotowym i układa na stoliku specjalnego stereoskopowego mikroskopu, za pomocą którego zdjęcie się ogląda. W zależności od rodzaju okularów można uzyskać na tym mikroskopie powiększenie od 5—30 razy. Ciekawe to urządzenie zasadniczo różni się od podanej metody, gdyż służy do mikroskopowych wymiarów zdjęć i oglądane może być tylko za pomocą mikroskopu, podczas gdy przedstawiona mikrostereoradiografia powiększa wyłącznie trzeci wymiar do 60 i więcej razy, bez jakiegokolwiek optyki, i to radiogramy wymiarów do 30 × 40 cm.

Korzystam ze sposobności złożenia w tym miejscu uprzejmych podziękowań doc. dr Julianowi Chudykowi za umożliwienie wypróbowania różnego rodzaju aparatów rentgenowskich i negatoskopów stereoskopowych w Klinice Radiologicznej w Krakowie, jak również dr Władysławowi Karczewskiemu i dr Zygmunutowi Koperze za okazywaną mi uprzejmie pomoc, która umożliwiła dokonywanie we własnym zakresie zdjęć w czasie konserwacji zabytków.