

**PRIMJENA RENDGENSKOG SNIMKA U ANALIZI DRVENE SKULPTURE ANĐELA
S OLTARA SV. JOSIPA...**

mentor: dr. sc. Šefka Horvat-Kurbegović, izv. prof., ALU
komentor: mr. spec. rest. i konz. Dragan Dokić, naslovni doc.

Hrvoje Gregorić

Zagreb, lipanj 2003.

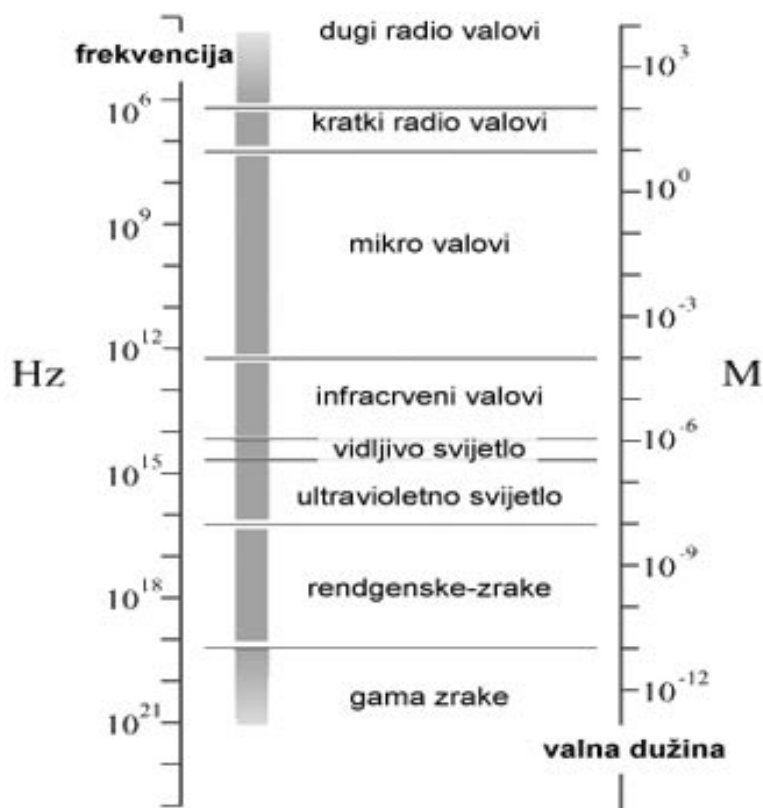
ELEKTROMAGNETSKA ZRAČENJA I RENDGENSKE ZRAKE

Valna dužina kao osnovna karakteristika elektromagnetskih zračenja.

Eksperimentirajući katodnim zrakama, W. C. Röntgen otkrio je 1895. novu vrstu zraka i nazvao ih x-zrakama, jer mu je njihova priroda bila potpuno nepoznata. Njemu u čast, te su zrake kasnije nazvane rendgenskim zrakama.

Nakon što je 1912. M. Laue dokazao da se rendgenske zrake mogu ogibati, postalo je jasno da su rendgenske zrake transversalno elektromagnetsko zračenje.

Među elektromagnetskim zračenjima, prema valnim duljinama, razlikujemo: izmjenične struje, duge valove, srednje valove, kratke valove, TV i UKV valove, radarske valove, mikrovalove, infracrvene valove, vidljivo svjetlo, ultravioletno svjetlo, rendgenske zrake, gama zrake i kozmičke fotone (Slika 4.).2



Slika 4. Spektar elektromagnetskog zračenja

Valne duljine elektromagnetskih zračenja mogu se izraziti u metrima, centimetrima, milimetrima, mikronima ($1000 \text{ m}\mu = 1 \text{ mm}$), milimikronima ($1000 \text{ m}\mu = 1 \mu$), Å angstromima ($1 \text{ Å} = 0.1 \text{ m}\mu = 10^{-2} \text{ cm} = 3.937 \times 10^{-9} \text{ in}$), te X jedinicama ($1.000 \text{ X} = 1.00202 \text{ Å}$).

Valna duljina λ (lambda) obično se izražava u angstromima (Å). Formula koja se koristi za izračunavanje granice niske valne duljine kontinuiranog rendgenskog spektra jest: 3

$$\lambda_c = \frac{12.35}{V} \quad \text{u Å} \quad (1)$$

Rendgenske zrake obuhvaćaju vrlo široko područje valnih duljina (od otprilike od $1,5 \times 10^{-9}$ do 1×10^{-11} m tj. $0,0001 \text{ Å}$ do 1000 Å). Najkraće valne duljine rendgenskih zraka zalaze u područje gama zraka, dok se najdulje pokrivaju s valnim duljinama ultravioletnog područja elektromagnetskog spektra.

Od drugih zraka elektromagnetskog spektra iste valne duljine (gama zrake) razlikuju se načinom postanka: rendgenske zrake nastaju prijelazima u elektronskom plaštu ili kočenjem brzih elektrona, dok gama zrake nastaju kvantnim prijelazima unutar jezgre.

Oba oblika zračenja putuju u ravnim linijama brzinom svjetlosti. U praksi, ona se ne mogu usmjeriti niti zakrenuti pomoću leća ili staklenih prizmi. Kad zračenje prolazi kroz tijelo, snop svjetlosti slabi zbog različitih fizičkih fenomena, primjerice apsorpcije i raspršivanja. Rendgenske zrake stvaraju ionizirajući efekt oslobađajući elektrone iz bilo kojeg materijala na koji padnu. Ta ionizirajuća radnja može prouzročiti sljedeće efekte: fluorescenciju određenih materijala, kemijske reakcije kao što je nastanak prikriivenih slika, te biološke reakcije u smislu uništavanja živih stanica.

Postanak rendgenskih zraka

Za dobivanje rendgenskih zraka potreban je uređaj koji se naziva rendgenska cijev, a koji mora sadržavati:

1. Izvor elektrona ili katodu;
2. Metu na koju elektroni udaraju, a koja se obično naziva antikatoda ili anoda; i
3. Uređaj za uspostavljanje visokog napona, koji ubrzava elektrone tako da oni dovoljno velikom brzinom udaraju u metu.

Rendgenske zrake nastaju sudarom katodnih zraka, tj. elektrona vrlo velikih brzina, sa čvrstim tijelom u rendgenskoj cijevi. Normalna rendgenska cijev sastoji se od vakumirane staklene cijevi. Ovaj vakum je važan jer omogućuje oslobođenim elektronima da slobodno putuju. U cijevi je postavljena usijana nit koja opskrbljuje elektrone i stvara negativnu elektrodu ili katodu te pozitivnu elektrodu tj. anodu.

Nit katode grije se do usijanja s nekoliko ampera. Ona oslobađa elektrone koji će se gibati u bilo kojem smjeru sve dok se između katode i anode ne uspostavi visoka električna voltaža (voltaža cijevi). Pod utjecajem ove voltaže elektroni se izbacuju prema anodi. Elektroni se koncentriraju u snop putem tzv. fokusne šalice. Meta ili antikatoda postavlja se na mjesto gdje elektroni udaraju u anodu. Naglo zaustavljanje malog broja elektrona na površini mete rezultira stvaranjem rendgenskih zraka.

Od kinetičke energije elektrona, oko 99.7% se transformira u toplinu, dok se ostatak pretvara u rendgenske zrake, ako se koristi malen uređaj. Elektroni udaraju samo u maleno područje mete, koje se naziva točka fokusa. Dimenzije ove točke su vrlo važne i uputno je da budu što manje, budući da će rendgenska snimka biti to oštrija što je točka fokusa manja.

Kontinuiran spektar rendgenske cijevi obuhvaća široki opseg valnih dužina, a karakterizira ga granica niske valne dužine i snaga distribucije. Spektar varira ovisno o voltaži koja se primjenjuje na rendgensku cijev. S druge strane, gama zračenje sastoji se od niza specifičnih valnih dužina koje se razlikuju prema prirodi radioaktivnog izvora.

Što je valna dužina rendgenskog zračenja kraća, to je njegova energija i prodorna snaga jača. "Tvrde" rendgenske zrake imaju kratku valnu dužinu, dok "meke" rendgenske zrake imaju relativno dugu valnu dužinu. Kvaliteta zračenja odnosi se na relativnu tvrdoću, odnosno prodornu snagu zračenja.

Proizvođači rendgenskih cijevi izdaju tablice u kojima su naznačeni kilovolti i miliamperi koji se mogu primjeniti u različitim vremenima ekspozicije. Ispravnost rendgenske cijevi značajno će se produžiti ako se ona koristi sukladno opsegu njenih mogućnosti.

Osnovne karakteristike i vrste

Kao oblik elektromagnetskog zračenja rendgenske su zrake usporedive s običnim, vidljivim svjetlom, ali ga od njega razlikuju mnogo manje valne dužine. Upravo zbog toga imaju neke posebne karakteristike: rendgenske zrake nisu neposredno vidljive, mogu prolaziti kroz materijale koji apsorbiraju ili reflektiraju vidljivu svjetlost. Nadalje, rendgenske zrake se šire u pravcima, bacaju oštre sjene, djeluju na fotografsku ploču i u nekim tvarima izazivaju fluorescenciju.

Poznata su dva oblika rendgenskog zračenja:

1)Kontinuirano ili «bijelo» zračenje; koje sadržava kontinuirani niz valnih dužina. Najkraća valna dužina tog zračenja određena je samo naponom cijevi. Pri većem naponu snop elektrona udara većom brzinom u anodu i daje zrake manjih valnih dužina. U većini slučajeva čim je valna dužina rendgenskih zraka manja, one su prodornije.

2)Karakteristično zračenje; koje se javlja pored kontinuiranog zračenja ako je napon cijevi dovoljno velik. To zračenje sadržava valne dužine koje ovise o rednom broju atoma koji ih emitira i karakterizira, dakle, element koji sadržava anoda.⁴

Za detekciju rendgenskih zraka služi njihovo fluorescentno, fotografsko i ionizaciono djelovanje. Činjenicu da teški atomi apsorbiraju rendgenske zrake jače nego laki uočio je već Röntgen i iskoristio da učini vidljivom unutrašnjost neprozirnih tijela. Od toga se razvila medicinska, industrijska i restauratorska dijagnostika.

RADIOGRAFIJA ILI RENDGENSKA FOTOGRAFIJA

Rendgenska fotografija jest fotografija koja koristi rendgensku zraku kao izvor svjetlosti, a zbog svoje nedestruktivnosti pogodna je za korištenje u proučavanju umjetnina.⁵

Zanimljivo je da je ova vizualna i nedestruktivna metoda ispitivanja slika i slikarskog materijala upotrijebljena vrlo brzo nakon publikacije Röntgenovog otkrića 1895. Već u ožujku 1896. Röntgenov je prijatelj zapisao da se "na drvenoj obojanoj ploči područja koja sadrže metalne pigmente kao što su cinober, krom žuta, berlinski plava i slične mogu odvojiti od onih koja ne sadrže metalne pigmente, primjerice karmin crvena." Iste godine König je napravio rendgenski snimak uljane slike, a 1897. sljedeća je izjava objavljena u *Electrical Review*: "Ovakva primjena x-zraka može se pokazati iznimno korisnom za trgovce slikama u otkrivanju krivotvorina vrijednih slika."

Kako bi se dobili podaci o svojstvima uzorka, najvažniji ionizirajući efekt rendgenskih zraka jest kemijska reakcija na emulziju filma. Proces je sličan konvencionalnoj medicinskoj radiografiji pri čemu se dvodimenzionalna negativna snimka obično producira na fotosenzitivan film. Fotografski snimak koji se dobije naziva se rendgenski snimak (radiogram).

radiogram je zapravo vrsta slike sjenki gdje tamnija područja predstavljaju propustljivije dijelove uzorka, dok svjetlija područja predstavljaju otpornije dijelove. Ukoliko se snimak želi tiskati, potrebno je upamtiti da su kod snimke tamnija i svjetlija područja obrnuta u odnosu na rendgenski snimak.

Radiografija se obično koristi u početnim fazama studije, prije procjene i konzervacije, s tim da se tijekom analize i konzervacije ponekad rade i dodatne radiograme.

Analiza rendgenskog snimka spada pod vizualne metode istraživanja (kao npr. UV snimak, vidljivo svjetlo). Budući da rendgenske zrake imaju kraću valnu duljinu nego UV zrake, mogu prodrijeti kroz materijale koji su nepropusni za obično osvjetljenje ili UV zrake.

Rendgenske snimke su vrlo informativne budući da iz njih možemo jasno očitati konzervacijsko stanje, ranije popravke, kombinacije različitih tehnika, strukturne karakteristike te informacije važne za proučavanje starih proizvodnih tehnika. Saznanja o konzervacijskom stanju i ranijim popravcima vrlo su važna jer čine osnovu za pripremu restauracijskog plana.

Ova tehnika bitna je za određivanje pristupa obradi, uključujući opseg i metodu čišćenja. Također, kameni, mramorni, keramički i drugi trodimenzionalni objekti mogu se pregledati korištenjem rendgenske snimke radi otkrivanja ranijih popravaka i punjenja, unutarnje armature i oblika te konstruktivnih sastojaka objekta uključujući dokaze o koroziji i drugim oštećenjima.

Radiografija se prvenstveno koristi:

Za procjenu materijala radi daljnje analize;

Radi dobivanja iscrpnih podataka o obliku, strukturi i površinskim karakteristikama kao što su tragovi alata;

Radi omogućavanja konzervacije, opisa i ilustracije umjetničkih djela;

Radi otkrivanja prisutnosti više različitih materijala (npr. kod brava i noževa);

U analizi metalne strukture, npr. linija zavarivanja kod oštrica;

Radi otkrivanja tehnoloških krhotina ili otisaka čekića u uzorcima prljavštine;

U analizi željeznih objekata omogućujući izbor najboljih pozicija za uzorke s obzirom na stanje objekta i područje od interesa;

Tehnologija rendgenskog snimka

Rendgenska cijev usmjerava se na sliku, a rendgenska slika snima se na film koji se postavlja na maloj udaljenosti iza cijevi. Spektar valnih dužina rendgenskih zraka koje se emitiraju iz cijevi određuje se prema električnom potencijalu na kojem radi. Bolja rezolucija može se postići ako se film može postaviti blizu bojanje površine, a osvjetljenje (iradijacija) je usmjerena odostrag. Standardna veličina filma je 14" × 17".

Kilovoltaza kod snimki slika obično je u rasponu od 15 do 30 kV (pa do 60 kV) te 2,5 mA za vrijeme od oko 1 minute. Radi usporedbe, trodimenzionalni objekti mogu zatijevati prvotnu rendgensku snimku iz raspona od 60 do 80 kV i 8 mA za vrijeme od 90 sekundi, ovisno o gustoći i drugim faktorima.⁶

Elementi koji utječu na snimku

Kako je već rečeno, rendgenske zrake predstavljaju oblik elektromagnetskih zračenja sličnih vidljivom svjetlu, ali kraće valne dužine. Izbor intenziteta snopa rendgenskih zraka omogućuje pregled širokog spektra

materijala. Dobiveni snimak ovisi o stupnju prolaznosti rendgenskih zraka kroz konkretni materijal, odnosno o debljini, gustoći i kemijskoj prirodi pojedinih komponenti objekta koji se ispituje. I drugi elementi kao što su dužina ekpozicije i tip filma koji se koristi utječu na snimku.⁷

Prostorije za radiografiju

Rendgenski uređaji koji imaju primjenu u konzervaciji su ili male kabinetske jedinice ili veće jedinice industrijskog ili bolničkog tipa koje mogu proizvesti jače rendgenske zrake. Prednost kabinetskih jedinica koje se uobičajeno koriste u konzervatorskim laboratorijima jest što imaju integralni olovni zaštitni štiti te ne zahtijevaju dodatnu zaštitu od radijacije za operatera. Međutim, one su ograničene u intenzitetu i snazi rendgenskih zraka koje proizvode, a osim toga imaju i dimenzionalna ograničenja.

Budući da je rendgenski film osjetljiv na svjetlo, tijekom ekpozicije pohranjuje se u kazeti koja propušta samo malo svjetla, a kasnije se razvija u mračnoj sobi. ⁷

Tehnike rendgenske fotografije

Različite tehnike rendgenske fotografije koriste se kako slijedi:

Nisko-energijska rendgenska snimka, koja uključuje kilovoltazu u rasponu od 15-60kV, veliku razdaljinu između objekta i izvora, visoko-rezolucijski film, koristi se u pregledu umjetničkih slika i drvenih skulptura;

Visoko-energijska rendgenska snimka, koja uključuje kilovoltazu do 420kV koristi se za pregled objekata kao što su kameni ili brončani kipovi, namještaj, nakit, keramika i glazbeni instrumenti;

Beta-rendgenska snimka koristi se za pregled tankih listova, većinom papirnatih, i to korištenjem jednostavnog izvora od ¹⁴C radijski-označene plastike (poli-metilmetakril). Ova tehnika omogućuje detaljno utvrđivanje strukture papira i posebice vodenog žiga na papiru.

Elektronsko emisijska rendgenska snimka, koja uključuje kilovoltazu od oko 300kV, visoku filtraciju (10 mm Cu), jednoslojni radiografski film u dodiru s površinom koja se pregledava, koristi se za sloj boje na platnu ili drvenoj pozadini;

Laminografija, gdje se izvor rendgenskih zraka i detektor kreću sinhronizirano kako bi se dobila oštra slika samo pojedinog dijela objekta, koristi se za slike na drvenoj pozadini.⁸

Postoje i druge radiografske tehnike koje se uspješno primjenjuju na umjetničke objekte radi specifičnih analiza. Međutim, neke od tih tehnika zahtijevaju specijalizirane prostore koji nisu uvijek lako dostupni. Druge radiografske tehnike uključuju: tomografiju, mikro-fokusnu radiografiju, gama-radiografiju i neutron-radiografiju.

Treba naglasiti da radiografija nije namijenjena tome da zamijeni druge metode, nego da promatraču pruži dodatni izvor informacija. Često, upravo zbog svoje nedestruktivnosti, ova tehnika može poboljšati primjenu drugih metoda istraživanja.

Treba, međutim, naglasiti da radiografija može ometati određene tehnike utvrđivanja starosti kao što je termoluminescencija i zbog toga može biti neodgovarajuća za neke keramičke i druge materijale. Međutim, metali nisu time zahvaćeni.

Interpretacija snimaka

Rengenske se zrake apsorbiraju prilikom prolaska kroz umjetnička djela kao što su slike. Opseg u kojem će ih različiti materijali apsorbarati ovisi o njihovoj gustoći i debljini, odnosno o atomskoj karakteristici koja se naziva koeficijent masene apsorpcije (eng. mass absorption coefficient) i funkcija je valne dužine rendgenskih zraka i atomskog broja. On predstavlja mjeru za sposobnost materijala da zaustavlja rendgenske zrake te se, pri određenoj valnoj dužini rendgenskih zraka, povećava s prosječnim atomskim brojem prisutnih kemijskih elemenata. Za pojedini element ili kombinaciju elemenata, koeficijent masene apsorpcije se povećava s valnom dužinom rendgenskih zraka budući da su rendgenske zrake s većom valnom dužinom slabije i manje prodrone.

U praksi, transmisija rendgenskih zraka ovisi o debljini slikanog sloja, gustoći pigmenta, odnosu pigmenta i veziva, debljini i gustoći nosioca (platna, drvo itd.). Pod pretpostavkom jednake debljine slikanog sloja i odnosa pigmenta i veziva, boje koje sadrže pigmente koji se sastoje od elemenata većeg atomskog broja kao što su olovno bijela, cinober, olovno-kositarsko žuta i napuljski žuta, apsorbiraju rendgenske zrake mnogo jače nego pigmenti manjeg prosječnog atomskog broja kao što su azurna i zemljano zelena, umbra i oker. Kvarc, organski materijali, primjerice platno, ocakline, organski pigmenti i bojila, doslovno su prozirni za rendgenske zrake budući da su sastavljeni od ugljika, vodika, dušika i kisika koji čine elemente malog atomskog broja. Korozni objekti transparentniji su za rendgenske zrake nego debeli i gusti objekti koji zahtijevaju dužu ili jaču ekspoziciju kako bi se dobila informativna snimka.

Dakle, pigmenti na slici će različito propuštati rendgenske zrake osivno o njihovoj gustoći i atomskom broju njihovog kemijskog spoja. Pigment koji sadrži olovo ili živu propustit će više rendgenskih zraka nego pigment koji sadrži krom ili kobalt. Na konačnu rendgensku snimku utjecati će i drugi faktori uključujući razlike u debljini boje.

Olovno bijela redovito predstavlja pigment koji je najznačajniji u formiranju rendgenskih snimki. Ovaj je pigment, uz slikani sloj, često sastavni dio podloge, a obično je koncentriran u pukotinama između vlakana platna zbog čega je uzorak platna vidljiv na rendgenskim snimkama. Tzv. podokvirni vijenac – uzorak na rubu platna koji potječe iz vremena kad je platno prvi puta nategnuto na podokvir – također se otkriva ovom metodom. Prisutnost ili odsutnost podokvirnog vijenca može pomoći u određivanju da li je platno ranije smanjivano. Rendgenski pregled platna može pružiti informacije o njegovoj strukturi, porijeklu, starosti i dodacima. Isto tako, on otkriva «mrežne pukotine» različitih veličina koje nastaju tijekom vremena zbog varirajućih sila između slikanog, temeljnog sloja i nosioca.

Rendgenske snimke drvenih ploča korisne su u utvrđivanju korištenog drveta, bioloških oštećenja od insekata te položaja čavala i zakovica korištenih u konstrukciji umjetnine. radiogrami mogu ukazati na položaj godova drveta, pukotine, oštećenja, praznine, dodatke, izmjene, mješovite ploče. Organska oštećenja uzrokovana insektima kao što je «mrtvački sat» također se pokazuju na rendgenskim snimkama ako su pukotine popunjene olovno bijelom koja sadrži staklarski kit.⁹

Ova tehnika također pokazuje pozlatu i druge metalne aplikacije na umjetničkom objektu. Stupanj korozije na željeznim te brončanim objektima, tehnika premaza na bronci, kao i izvorni natpis i dizajn na kovanicama također će biti vidljive na radiogramu.¹⁰

Rendgenska snimka ujedno omogućuje vizualizaciju slike koja se nalazi ispod one vidljive oku. S druge strane, rendgenske snimke mogu pokazati da je slika u odličnom stanju i da nije bila mijenjana.

Važno je napomenuti da će dvodimenzionalna snimka pokazati sve karakteristike jedne preko drugih što može rezultirati nejasnoćama, primjerice između sastojaka kompleksnih objekata, zbog efekata korozije ili zbog kuta ekspozicije. Zbog toga se preporuča promatrati objekte i snimke zajedno. Rijetko će samo jedna snimka otkriti sve potencijalno dostupne podatke. Interpretacija se može unaprijediti promjenom orijentacije objekta u odnosu na snop rendgenskih zraka, ili pak variranjem ekspozicije s obzirom na podatak koji se traži.

Ukoliko se snimke namjeravaju koristiti za izmjeru ili ilustrativni opis objekta, treba uzeti u obzir dimenzijske distorzije. Na primjer, tanak objekt koji može biti postavljen blizu rendgenske ploče dati će snimku koja će odgovarati njegovoj realnoj veličini. Debeli objekti ili oni koji su postavljeni na većoj udaljenosti od rendgenske ploče biti će na snimci prikazani veći i manje oštri. Nasuprot tome, značajno korozivni rubovi mogu biti vrlo transparentni za rendgenske zrake te, zbog toga, objekti mogu izgledati manjim.

U idealnim uvjetima radiogrami bi se trebali promatrati u zatamnjenoj sobi pod svjetlosnom kutijom, sa prikrivenim vanjskim svjetlom. Svi podaci dostupni putem rendgenske snimke ne mogu se otkriti samo držanjem ploče nasuprot najbližem prozoru ili lampi budući da se oko ne može u dostatnoj mjeri adaptirati na kontraste u svjetlosti.

PRIMJERI PRIMJENE:

Bernard van Orley: «Djevica i dijete Isus» (eng. Virgin and Christ Child)

Nacionalna galerija Kanade kupila je 1984. godine sliku «Djevica i dijete Isus» flamenskog mjestara Bernarda van Orleya iz Brisela (1488 – 1541).

Radiogram ove slike otkrio je vertikalnu strukturu godova drveta te odsutnost pukotina i bioloških oštećenja izazvanih insektima. U slici su nađeni elementi olovo (Pb), bakar (Cu), živa (Hg), željezo (Fe) i zlato (Au). Olovo je pronađeno u svim područjima slike. Najčešći pigment koji sadrži olovo jest olovno bijela. Bakar je pronađen u plavim područjima i zasigurno proizlazi iz prisutnosti azurita [$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$]. Prisutnost žive može se pripisati pigmentu cinobera koji se sastoji od žive i sumpora (HgS). Činjenica da živa nije pronađena u crvenom rukavu Djevice, sugerira da ta crvena može biti grimizna. Zlato, vjerojatno pomiješano s bakrom, pronađeno je u aurama.¹¹

El Greco: «El Espolio»

Tijekom restauratorsko-konzervacijskog postupka na El Grecovoj slici «El Espolio» korištena je radiografija kao metoda analize. Na rendgenskoj snimci jasno su vidljiva mjesta spajanja i pucanja drvenog nosioca kao i raniji popravci te oštećenja u originalnom slikanom sloju.

Najzanimljiviji dio slike bilo je nebo budući da je na tom dijelu uočena ogromna razlika između prikaza na radiogramu i onog vidljivom golim okom. Područja neba za koja se moglo očekivati da će se jasno vidjeti na radiogramu, bila su tek uočljiva dok su se jasno pokazali određeni oblici koji uopće nisu vidljivi iz običnog pregleda slike. Nadalje, konture neba oko glava figura na slici su smještene niže nego na radiogramu. Daljnja analiza ukazala je na uzrok ovih razlika: preko debljeg sloja podslika u kojem je korištena olovno bijela naslikane su figure glava, a nakon toga i gornji slikani sloj neba. Taj gornji sloj neba, vidljiv golim okom na slici, ne vidi se na radiogramu jer je tanak, dok se podslik koji sadrži olovno bijelu jasno pokazuje.¹²

Paolo Schiavo: «Gospa Poniznosti» (eng. Madonna of Humility)

Oltarski tabernakul «Gospa Poniznosti» jedinstven je primjerak gotovo u potpunosti sačuvane originalne strukture. Nakon što je ustanovljeno da je okvir tabernakula u značajnom dijelu originalan, započet je detaljan pregled konstrukcije objekta pomoću radiografije. Objekt je sniman rendgenski i to straga u nekoliko dijelova, a nakon toga je film spojen kako bi se dobila potpuna snimka.

Podaci dobiveni iz radiograma uključivali su: mjesta spajanja, položaj godova i položaj čavala na drvenom nosiocu. Od posebnog je značaja bilo uočavanje razlike između ručnoizrađenih čavala i modernih

mehanički-izrađenih čavala, što je ukazalo na ranije popravke. Na temelju usporedbe položaja glava čavala te kuta i orijentacije tijela čavala, izvedeni su zaključci o točnom položaju i svrsi svakog pojedinog čavla. Nadalje, radiogram je pokazao da su čavli iskrivljeni: njihov zavrnut oblik nastao je kad je kraj čavla probio kroz nosioc te je izravnat čekićem.¹³

John Constable: «Bijeli konj» (eng. White horse)

Kako je pregled površine slike «Bijelog konja» pomoću binokularnog mikroskopa ukazao na vjerojatnost da je slika naknadno prebojana debelim slojem boje od stane drugog autora, primjenjena je radiografska metoda radi potvrđivanja ove pretpostavke. radiogram je pokazao da se ispod vidljive slike «Bijelog konja» nalazi slika «Dolina Dedham s ugljenokopa» (eng. Dedham Vale from Coombs) te ukazao na mogućnost da se ispod vidljive verzije «Bijelog konja» nalazi jedna ranija verzija, odnosno skica iste slike. Nadalje, radiogram je otkrio da se u donjem lijevom dijelu slike prvotno nalazilo drvo preko kojeg se penjala lisnata penjačica koja je obrubljivala lijevi dio prikaza Dedham doline. Iako je Constable pri skiciranju Bijelog konja slikao preko tog drva, donji lijevi dio penjačice uključen je u skicu Bijelog konja.¹⁴

Japanska skulptura Fudo-Myoo-a

1986. godine u Krannert Muzeju na Sveučilištu Illinoisa održana je izložba «Pogled znanosti na umjetnost» na kojoj je izložena i drvena skulptura budističkog božanstva Fudo-Myoo-a. Stilistički, izgled ove skulpture upućivao je na kasno 12. stoljeće, međutim datiranje skulpture potvrđeno je tek nakon analize rendgenskog snimka skulpture. Naime, radiogram strukture jasno je pokazao način na koji je način veći broj drvenih dijelova korišten u rezbarenju glave, vrata, torza te donjih dijelova nogu kao zasebnih jedinica. Ovakva je metoda rezbarenja upućivala na sredinu 11. stoljeća ili pak kasnije razdoblje. radiogram je ujedno otkrio tri moderna čavla korištena u ranijem popravku skulpture.¹⁵

NOVE TEHNIKE: DIGITALNA RADIOGRAFIJA

Digitalno procesuiranje snimki je tehnika koja se koristi kompjuterskom tehnologijom, a koja konzervatoru, odnosno restauratoru može pomoći u interpretaciji vizualnih podataka sadržanih na fotografskim snimkama stvorenim tijekom dokumentacije rada na objektu. Digitalno procesuiranje snimki ima tri funkcije: poboljšavanje, odnosno prilagođavanje izgleda snimke oku promatrača; očitavanje iz snimke podataka koji nisu očiti ljudskom oku; kalibriranje snimke u fotometričkom i geometričkom smislu.

Osnovna tehnika procesuiranja snimki naziva se skeniranje, a sastoji se u preobrazbi snimke umjetničkog djela sa filmskog negativa u računalni program. Negativ se smješta na staklenu pomičnu ploču kroz koju prolazi tanak snop svjetlosti. Ploča se pomiče pod kontrolom kompjutera. Proces skeniranja dijeli snimku u dvodimenzionalni red uzoraka podataka ili pixela (skraćenica za «picture elements» - eng. elementi slike) koji predstavljaju svjetloću snimke (tzv. sivi stupanj). U standardnoj shemi postoje 256 mogućih sivih stupnjeva, i to u opsegu od 0 (crna) do 255 (bijela). Skenirana snimka pohranjuje se u kompjuter.

Digitalno procesuiranje snimke sastoji se od primjene niza računalnih (kompjuterskih) programa na snimku kako bi se dobili željeni rezultati. Za potrebe digitalnog procesuiranja, odnosno njegove primjene u restauraciji i konzervaciji, razvijene su kompjuterske baze podataka snimki. Primjerice, u Laboratoriju za digitalno procesuiranje kalifornijskog Tehnološkog instituta koristi se tzv. VICAR (Video Information Communication and Retrieval), kompjuterska baza podataka koja omogućuje laku upotrebu i ne zahtijeva detaljno poznavanje mašine, a pomoću koje se kompleksne obrade snimaka može vršiti putem jednostavnih naredbi. Trenutno je dostupno preko 300 VICAR programskih aplikacija.¹⁶

Nedavni pronalasci u računalnom, odnosno digitalnom procesuiranju slika i razvoj elektronskih rendgenskih detektora omogućili su razvoj digitalnih radiografskih tehnika koje predstavljaju ogroman potencijal u analizi umjetničkih djela. Osnovne digitalne radiografske metode su: digitalna fluoroskopija, radiografija skeniranom projekcijom i sistem skeniranog izvora točke.¹⁷

Digitalna Fluoroskopija

Digitalna fluoroskopija postiže se korištenjem modificirane verzije standardnog radiografskog sistema u kojem slika nastaje tako što rendgenske zrake prolaze kroz objekt i padaju na pojačalo slika koje ima funkciju receptora. U konvencionalnim sistemima produkcija iz pojačala prikazuje se putem videokamere ili fotoaparata za stalno snimanje. Radi ostvarivanja svih prednosti digitalne fluoroskopije, sistem digitalne fluoroskopije zahtijeva upotrebu videokamere podešene za maksimalnu točnost i minimalnu iskrivljenost. Produkcija iz videokamere preinačuje se iz električnog signala (voltaže) u digitalizirani format koji se pohranjuje u kompjuteru.

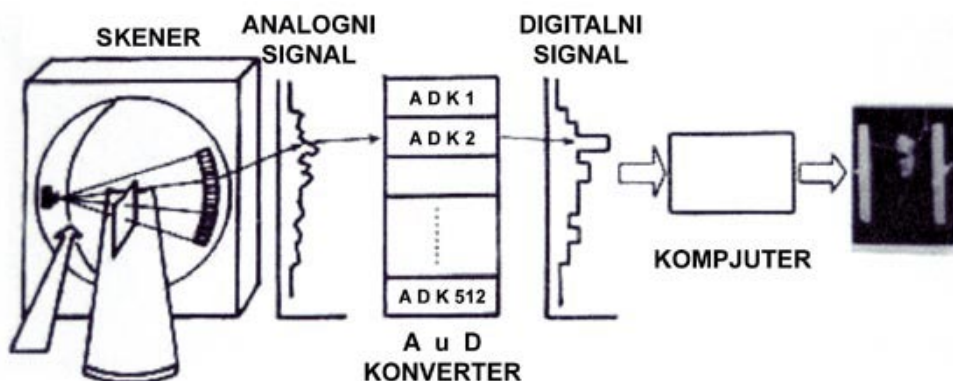
Osnovna prednost ove tehnike je trenutna produkcija radiograma na ekranu, što omogućuje procjenu slike radi pravilne ekspozicije i pozicioniranja istovremeno dok ona nastaje. Daljnja prednost sastoji se u vrlo preciznoj prostornoj rezoluciji koju ovaj sistem produkcije omogućuje, a što je vrlo važno za uočavanje detalja na slikama objekta. Postojeća povećala slika imaju mogućnost prikazivanja detalja čak veličine od 0.25 mm, zbog čega su vidljive pojedinosti svakog pojedinačnog poteza kistom na umjetničkoj djelu. Poteškoća pri korištenju ove metode jest ograničen prostor koji može biti prikazan. Najveće trenutno dostupno pojačalo za slike ima promjer od svega oko 35,5 cm, zbog čega pregled većih područja zahtijeva veći broj izlaganja. Zbog toga je ovaj sistem koristan za detaljnu analizu manjih objekata ili malenih područja većih objekata, dok se za cjelokupnu analizu umjetničkih djela većih dimenzija koriste niže opisane digitalne metoda.

Radiografija skeniranom projekcijom

Jedan od izdanaka modernih instrumenata za CAT skeniranje jest metoda digitalne radiografije koja ima mnoge karakteristike standardne radiografije, ali u kojoj se svaka točka podataka (tzv. voxel) snima na zaseban način. Metoda se sastoji u polaganju rendgenske cijevi i detektora u položaj koji omogućuje da se objekt linearno pomiče kroz snop rendgenskih zraka. Kako se objekt pomiče, kompjuter prikuplja podatke s detektora i slika objekta se pohranjuje u računalnu memoriju za daljnju obradu i projekciju. Dobivena slika, prije ili nakon digitalnog procesuiranja, prikazuje se na video monitoru. Na toj slici, intenzitet svake pojedine točke, odnosno pixel, proporcionalan je količini rendgenskih zraka koje su prošle kroz odgovarajuću točku na objektu. Prostorna rezolucija ovog sistema prihvatljiva je, ali nije toliko kvalitetna kao ona kod digitalne fluoroskopije. Prednost radiografije skeniranom projekcijom jest da se mogu koristiti rendgenske zrake u širokom spektru. To je moguće jer se detektor može prilagoditi za rendgenske zrake koje se koriste.

Sistem skeniranog izvora točke

Treća digitalna radiografska metoda naziva se «leteća točka» ili sistem skeniranog izvora točke. U ovom sistemu radiogram se oblikuje skeniranjem vrlo tankog snopa rendgenskih zraka preko područja koje se snima. Nakon prolaska kroz objekt, snop rendgenskih zraka detektira se putem velikog kristala čija se svjetlosna projekcija mjeri, numerira i pohranjuje u računalnoj memoriji. Stvaranje tankog snopa rendgenskih zraka postiže se pomoću mehaničkog sistema s tzv. «kolimatorima» (eng. collimator) koji blokiraju snop i pomiču se tako da se snop skenira preko područja slike (Slika 5). Primjera radi, vrijeme potrebno za snimanje umjetničke slike dimenzija 50×60 cm jest oko 5 sekundi.¹⁷



Slika 5. Sistem skeniranog izvora točke

POPIS LITERATURE:

1. Badurina A., Fučić B., Grgić M., Ivančević R., Cevc E., Dragutinac M., Nežić D. Barićević D.: «Leksikon ikonografije, liturgike i simbolike zapadnog kršćanstva». Kršćanska sadašnjost, Zagreb 1990.
2. Enciklopedija Leksikografskog Zavoda, Vol. 5, Zagreb, 1969.
3. Geologisk Institutt Hovedlaboratoriet: «Xradiography of Cores», prema: http://hjs.geol.uib.no/hovedlab/instrument_xray_description_eng.html, 17.02.2003.
4. Akademik Supek I., Dr. Furić M.: «Počela fizike, Uvod u teorijsku fiziku», Školska knjiga, Zagreb, 1994.
5. Junchang Yang, Yanli Duan: «X-ray Radiography Applied to the Study of the Ancient Manufacturing Technique and the State of Conservation of Cultural Relics», prema: <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn672/idn672.htm> 17.02.2003.
6. Christine Ianna: «Non-destructive Techniques Used in Materials Conservation», prema: <http://www.ndt.net/article/apcndt01/papers/1159/1159.htm> 17.02.2003.
7. Vanessa Fell: «X-radiography and archaeometalurgy», prema: <http://www.his-met.org> 17.02.2003.
8. Alfrey G.F., James K.: «The gamma-ray radiography of decorative plasterwork», Studies in Conservation, Volume 31 No. 2 (May 1986)
9. Ian N.M. Wainwright: «Examination of Paintings by Physical and Chemical Methods» prema: http://www.cci-icc.gc.ca/document-manager/viewdocument_e.cfm?Document_ID=13Xref=co17.02.2003