

Počeci primjene X-zraka i CT-a u restauriranju u Dalmaciji

Ivo Donelli

Ivo Donelli
Umjetnička akademija u Splitu
Odjel za konzervaciju i restauraciju
ivo.donelli@gmail.hr

Stručni rad / Professional paper
Primljen / Received: 3. 5. 2022.

UDK: UDK: 535-34:[7.025.3]/4(497.5-3
Dalmacija)"19"

DOI: <https://doi.org/10.17018/portal.2022.7>

SAŽETAK: Prve je radiografske snimke napravio Wilhelm Conrad Röntgen 1895. godine, a prve radiografske snimke u konzervaciji i restauraciji napravljene su nedugo nakon otkrića rendgenskih zraka. Prve je pisane podatke o promišljanjima primjene X-zraka u Hrvatskoj u konzervatorsko-restauratorske svrhe, krajem 40-ih godina prošlog stoljeća u zagrebačkoj restauratorskoj radionici, ostavio konzervator Zvonimir Wyroubal. Međutim, početak primjene neinvazivne metode snimanja umjetničkih predmeta (slika) pomoću X-zraka, odnosno RTG uređaja, u Dalmaciji kreće nakon otvaranja restauratorske radionice u Splitu. Prema podacima, ovom je metodom snimljena jedna slika, *Bogorodica s Djetetom* iz crkve sv. Lovre u Trogiru, otprilike između 1957. i 1964. godine. Arheološki muzej u Zadru oko 1975. godine počinje primjenjivati RTG tehniku snimanja arheološkog materijala. Prva snimanja arheološkog materijala u Dalmaciji uporabom CT-a (kompjuterizirana tomografija) datiraju od 1989. godine, a snimanja se obavljaju u Kliničkom bolničkom centru *Firule* u Splitu. Uporaba X-zraka, kao neinvazivna metoda snimanja, osim kod slika starih majstora, upotrebljava se i za snimanje arheološkog materijala, osobito metala i njegove slitine, kao kosti, kože, keramike, polikromirane drvene skulpture, mumije i kamena.

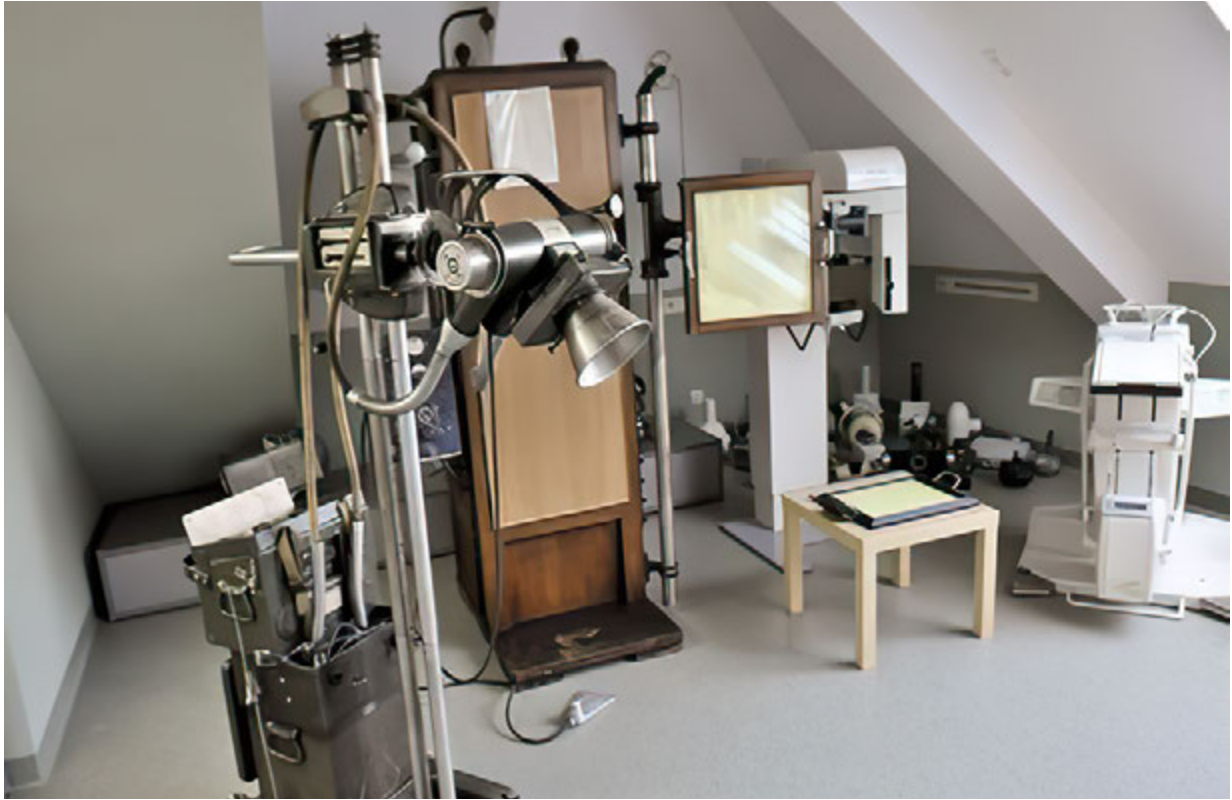
KLJUČNE RIJEČI: X-zrake, CT snimanje, izotop, metal, kamen, povijest restauriranja

Prve radiografske snimke napravio je 1895. godine Wilhelm Conrad Röntgen. Snimio je šaku svoje žene, a na snimci se vide kosti zapešća ruke s dva prstena na prstu. Rendgenske zrake ili X-zrake svoju prvu primjenu našle su u medicini. Međutim, vrlo je brzo snimanje predmeta X-zrakama, kao neinvazivna metoda, našlo primjenu i u restauraciji umjetničkih dijela, i to u ispitivanju boja, preslika te raznih oštećenja na slikama starih majstora. Tako je zabilježeno da su već 1914. god. u Muzeju povijesti umjetnosti u Beču (*Kunsthistorisches Museum Wien*) rabili ovu metodu snimanja pojedinih slikarskih djela. Na međunarodnom se kongresu povjesničara umjetnosti u Bruxellesu 1930. godine spominje uporaba X-zraka.¹ Međutim, prateći stručnu literaturu iz

konzervacije i restauracije pronalazim članke poljskih i ruskih konzervatora iz 1960. – 1970. godine, koji pomoću X-zraka snimaju arheološki materijal, osobito metal. U knjigama, autora M. V. Farmakovskog iz 1949. godine,² zatim H. Böhlaua iz 1955. godine,³ H. J. Plenderleitha i A. E. A. Wernera iz 1979. godine,⁴ te J. M. Cronyna iz 1995. godine,⁵ koje se bave konzervacijom i restauracijom, autori navode primjenu X-zraka kao neinvazivnu metodu kod snimanja arheoloških predmeta.

Povijest primjene X-zraka i CT-a u konzervaciji i restauraciji u Dalmaciji

Prve je pisane podatke o promišljanjima primjene X-zraka u konzervatorsko-restauratorske svrhe, za potrebe dijela



1. Nekadašnji izgled RTG uređaja KBC „Firule“ Split (snimka: I. Donelli, 2008.)
Original appearance of the X-ray machine at the Firule University Hospital in Split (I. Donelli, 2008)

slika koje su pripadale dalmatinskoj baštini, krajem 40-ih godina prošlog stoljeća u zagrebačkoj restauratorskoj radionici, ostavio konzervator Zvonimir Wyroubal. Navodi se, međutim, da u Hrvatskoj rendgen još nije postojao, tako da snimanje nije izvedeno. Nakon otvaranja restauratorske radionice u Splitu, ovom je neinvazivnom metodom snimljena jedna slika, *Bogorodica s Djetetom* iz crkve sv. Lovre u Trogiru, oko 1957. – 1964. godine,⁶ međutim nije navedeno gdje je slika snimljena. Iz pisanih se podataka doznaje da je prvi rendgen u Split došao 1909. godine te da je bio instaliran u privatnom sanatoriju dr. Jakše Račića, dok je Civilna bolnica takav uređaj dobila tek 1940. godine, ali nemamo podatke jesu li na njima snimane umjetničke slike.



4. CT uređaj (snimka: I. Donelli, 1989.)
CT machine (I. Donelli, 1989)

Kao restaurator zaposlio sam se 1975. godine u Arheološkom muzeju u Zadru. U sklopu muzeja postojala je konzervatorsko-restauratorska radionica koju je vodio prof. arheologije Božidar Vilhar. Već tada smo metalne arheološke predmete koji su na sebi imali debele naslage oksida, nosili u Zadarsku bolnicu na rendgensko snimanje (sl. 1). Budući da je riječ bila o starijim tipovima rendgenskih uređaja, problem prilikom snimanja predstavljalo je namještanje optimalne ekspozicije, kao i vrijeme zračenja. Problem je bio i izabrati pravu foliju na kojoj je srebrena emulzija, odnosno film, što je bilo dosta skupo, a nama su za jedan dobar snimak trebalo najmanje tri filma. Radiološki tehničari, koji su obavljali snimanja, bili su specijalizirani za snimanja ljudskog tijela i kostiju, a ne za metal. Ekspozicija, odnosno duljina zračenja također je predstavljala problem, tako da smo imali prezračeni (preekspozirani) predmet, odnosno slika je bila tamna ili pak bijela, što je značilo da predmet nije dovoljno ozračen. Namještanje ekspozicije (određivanje parametara snimanja) i trajanje zračenja bio je dugotrajan i naporan posao. Ispod debelih naslaga oksida vizualnim se opažanjem nije moglo pretpostaviti je li željezni predmet potpuno izgubio metalnu jezgru ili se na željezu nalaze još neki materijali, kao što su srebro, koža, kost, zatim ima li ukrase itd. Svi se ti podaci, naime, mogu dobiti tek dobrom rendgenskom snimkom. Problem je bio i čitanje nalaza. Međutim, prof. Vilhar, koji je bio na specijalizaciji

u konzervatorsko- restauratorskim radionicama u Švedskoj i Danskoj te se susretao s metodama rendgenskog snimanja, znao je točno reći što se vidi na snimci (sl. 2).

Godine 1977. restauratorsko-konzervatorska radionica pri Arheološkom muzeju u Zadru, nabavila je rendgenski uređaj koji je bio rashodovan iz zadarske bolnice. Koliko znam, to je bio prvi rendgen koji je posjedovala jedna ustanova za restauraciju umjetničkih predmeta. Na tom se uređaju nisu snimale slike, već samo arheološki materijal, izvađen iz zemlje ili iz mora.⁷

Nastavak povijesti uporabe rendgenskog uređaja, odnosno X-zraka kod snimanja arheoloških predmeta u Dalmaciji, možemo pratiti po pisanim i objavljenim stručnim člancima. Tako se u stručnom članku dr. sc. Ante Miloševića *Rimski bodež s tauširanim koricama iz korita Cetine* iz 2008. godine, spominje rendgensko snimanje predmeta.⁸ Također, stručni članak iz 2002. godine autora Ante Piteše i Ive Donelli *Karolinški mač s natpisom iz Zadvarja – Rekonzervacija i konzervacija Karolinškog mača iz Zadvarja*, navodi uporabu rendgena (sl. 3).

Prva snimanja arheološkog materijala u Dalmaciji uporabom CT-a (kompjuterizirana tomografija) snimljena su u Kliničkom bolničkom centru *Firule* (KBC *Firule*) u Splitu, na Zavodu za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju, i to samo dvije godine od nabave prvog CT uređaja na području Dalmacije, a datiraju od 1989. godine.⁹ To je suvremena metoda kojom se, osim panoramske, dvodimenzionalne slike, dobije i trodimenzionalna slika predmeta. Programiranjem računala za očitovanja pojedinih materijala te njihovom numeriranjem dobivamo tabelarne vrijednosti, kako za metale, tako i za metalne okside, te za druge materijale, poput drva, kože, platna, kosti itd. (sl. 4). Pomoću CT-a, snimljen je arheološki željezni materijal izvađen iz rijeke Cetine kod Trilja.¹⁰ Arheološka istraživanja vršio je arheolog dr. sc. Ante Milošević 1990. godine, a na konzervatorsku je obradu donesen u restauratorsku radionicu Hrvatskih arheoloških spomenika u Splitu.¹¹

Međutim, od svih materijala dosada se jedino nije snimao kamen. Nije mi poznato je li razlog što za tim nije bilo potrebe ili se na ovim uređajima nije mogao prozračiti. No pronalaskom mramornih skulptura u Augusteumu u Naroni (Vid) 1996. godine, kao preduvjet konzervatorsko-restauratorskim radovima pojavila se potreba snimanja skulptura rendgenom. Moram napomenuti da su mramorne skulpture nadnaravne veličine, neke i preko dva metra. U jednoj talijanskoj publikaciji iz područja povijesti, umjetnosti i arheologije, iz 1986. godine, T.H. Larson, autor članka *Konzervacija mramornih skulptura Neptuna i Triton dijela fontane Lorenza Berninija* navodi kako je, da bi dobio neke informacije o stanju mramora ispod erodirane površine, bio prisiljen primijeniti radiografsko snimanje.¹² Fizičko stanje 16 mramornih skulptura iz Narone – pukotine na samoj



2. Rendgenski snimci metalnih predmeta iz Arheološkog Muzeja u Zadru (fototeka AMZ, snimka: F. Nedved, 1977.)
X-ray images of metal objects from the Archaeological Museum in Zadar (AMZ Photo Archive, F. Nedved, 1977)



3. Rendgenski snimak ručice mača (snimka: I. Donelli, 2008.)
X-ray image of a sword grip (I. Donelli, 2008)



5. Snimanje arheološkog materijala rendgenom u KBC „Firule“ (snimka: I. Donelli 1996.)
X-ray imaging of archaeological material at the Firule University Hospital in Split (I. Donelli, 1996)



6. Pilot kamena skulptura (snimka: I. Donelli, 1996.)
Pilot stone sculpture (I. Donelli, 1996)



7. Rendgenski snimak (snimka: I. Donelli, 1996.)
X-ray (I. Donelli, 1996)

površini, dubinu vena koje se nalaze u mramoru, negativne efekte izazvane oksidacijom željeznih klinova, te tehnike popunjavanja i spajanja – potaklo me na razmišljanje kako bi bilo nužno, prije prijenosa iz Vida na konzervaciju u Split, skulpture snimiti radiografijom. Na ovom su zahtjevnom projektu 1997. godine radili inženjeri medicinske radiologije KBC-a *Firule*, zatim Brodogradilište u Splitu – odjel Testing, Institut za brodogradnju i strojarstvo u Zagrebu, Fotokemika Zagreb te Arheološki muzej Split, Odjel za konzervaciju i restauraciju, a voditelj je projekta bio Ivo Donelli, restaurator savjetnik.¹³ Prije snimanja skulptura iz Augusteuma u Naroni (Vidu), trebalo je napraviti neke predradnje kako bi rad na terenu bio uspješan. Mala mramorna skulptura iz postave Arheološkog muzeja u Splitu, sljedećih dimenzija – dužine: 73 cm, širine: 46 cm, debljine: 39 cm, koja je imala sve karakteristike kao skulpture u Vidu, poslužila nam je kao pilot prilikom probnih snimanja na rendgenima u KBC-a *Firule*, u Brodogradilištu u Splitu, te Institutu za brodogradnju i strojarstvo u Zagrebu. Bez obzira na različitost rendgenskih uređaja i filmova rezultati su bili približno isti (sl. 5, 6 i 7). Rendgenski su uređaji uspjeli prozračiti skulpturu, dok je za filmove za ovakvu vrstu snimanja trebalo tražiti optimalne karakteristike, a za taj problem trebalo se obratiti Fotokemiki u Zagrebu. Za sve je nas ovo bio pionirski rad jer nitko do sada nije pomoću rendgena snimao ovako velike kamene objekte (sl. 8 i 9). Skulpture su snimane pokretnim rendgenskim uređajem *Andrex Smart* s parametrima snimanja 300 KV i 3 mA, a filmovi su *Agfa Gevaert D-3, D-4, D-7 i D-8*. Najbolje smo rezultate dobivali upotrebom filmova D-3 i D-4 u sendviču, a za razvijanje filmova korištene su Fotokemikine kemikalije FR-210 i FF-220.

Rezultati snimanja 16 skulptura iz Augusteuma bili su sljedeći:

- Svi korodirani željezni klinovi stvorili su pukotine unutar kamene mase.
- Prostor između željeznih klinova i rupe za klinove nije popunjavao olovom nego za sada nedefiniranim masom.
- Mogli smo mjeriti dimenzije željeznih klinova i dužine rupa.
- Jedini je nedostatak ovakvog snimanja to što ovaj rendgen nije mogao prozračiti debljine veće od 24 cm.

Ciljanim radiografskim snimanjima s odabirom odgovarajućih filmova za industrijsku radiografiju, tehnikom i parametrima snimanja, te stručnom obradom filmova, zaključili smo da se s ovakovim radiografskim uređajima može dobiti solidna podloga za dodatnu razradu i snimanje u laboratorijskim uvjetima.¹⁴ Problem prozračivanja kamena rendgenskim uređajima koje smo imali na raspolaganju, nisu davali rezultate za kamene mase deblje

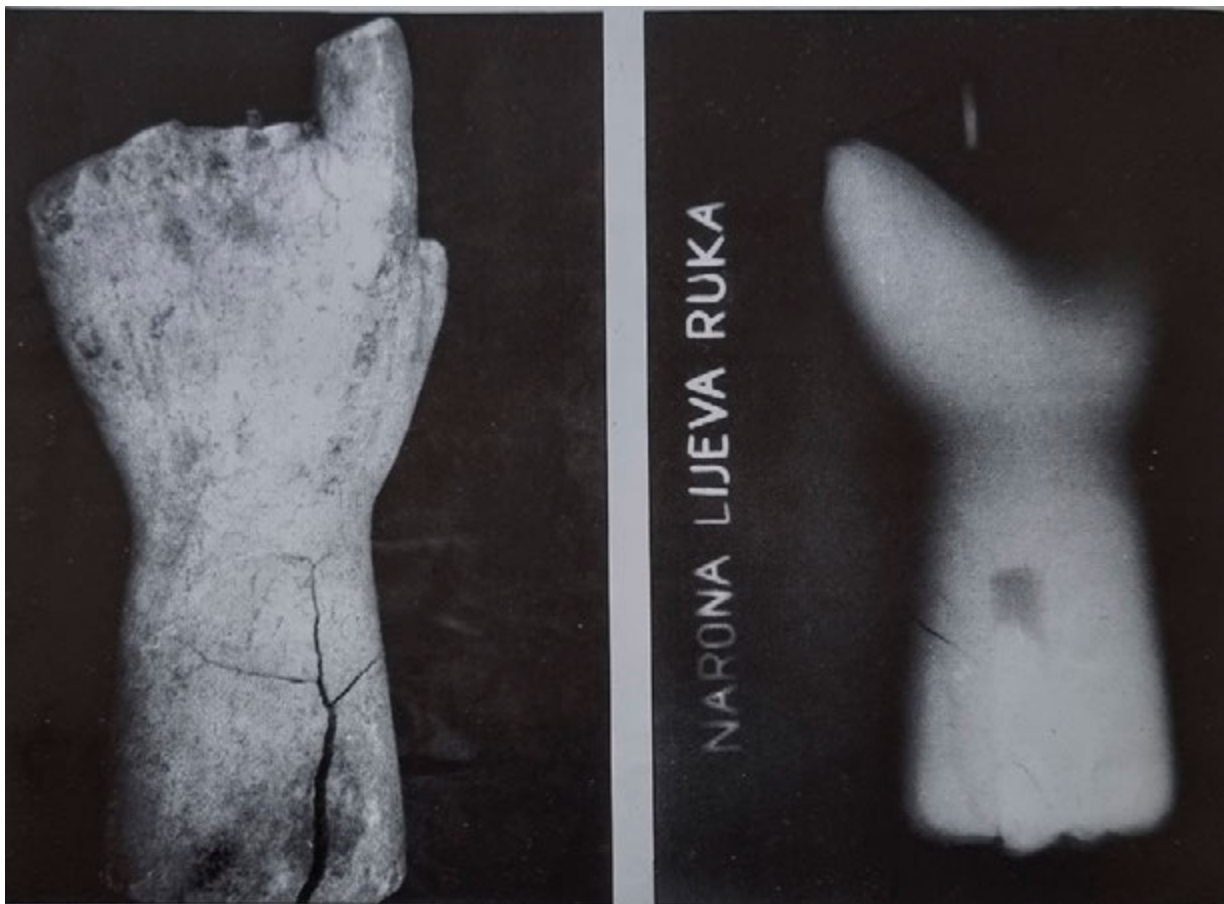


8. Snimanje mobilnim rendgenom (snimka: I. Donelli, 1997.)
Mobile X-ray imaging (I. Donelli, 1997)



9. Pozicioniranje rendgena i skulptura u Naroni – Vid (snimka: I. Donelli, 1997.)
Positioning X-ray machine and sculptures in Narona–Vid (I. Donelli, 1997)

od 24 cm (sl. 10). Međutim, izvještaj *Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij* iz Ljubljane iz 1991. godine donosi analizu radiografskog snimanja mramornog kipa nadnaravne veličine Augusta Imperatora u Arheološkom muzeju u Zadru. Ovaj je kip imao pukotinu u bazi te mu je prijetilo odlamanje fragmenata nogu i same baze, odnosno rušenje same skulpture. Iz izvještaja čitamo da su Slovenci upotrijebili radioaktivni izotop Co^{60} , te su na taj način prozračili 40 cm debelu kamenu masu, no u izvještaju autori nisu naveli ni tip uređaja ni specifikaciju filmova. Za snimanje je korišten radioaktivni izvor Co^{60} koji raspadom emitira gama-zračenje čije zrake imaju veću prodornost od X-zraka. Raspadom radioaktivnog izvora nastaje elektromagnetsko zračenje, koje ima manje valne duljine i veće frekvencije od rendgenskog zračenja, što omogućava veću prodornost zračenja kroz materijal (npr. kamen). Prolaskom kroz materijal, gama-zračenje slabi (atenuira), kao i kod RTG zračenja, te izaziva fotoefekt koji se može zabilježiti na RTG snimci, tj. filmu, a danas i na drugim receptorima slike koji koriste digitalne sustave za konverziju zračenja u sliku.¹⁵



10. Rendgenski snimak kamenog ulomka iz Narone (snimka: I. Donelli, 1996.)
X-ray of a stone fragment from Narona – Vid (I. Donelli, 1996)



11. Prenosivi RTG uređaj koji se nalazi na UMAS-u (snimka: I. Donelli, 2015.)
Portable X-ray device located at the Arts Academy in Split (I. Donelli, 2015)

Također, na Umjetničkoj akademiji na Odsjeku za konzervaciju-restauraciju, 2006. se godine oformljuje radiografski laboratorij te se instalira prenosivi RTG uređaj koji je donirala Opća bolnica Dubrovnik, kao i digitalizator za nastajanje digitalnih radioloških slika koji je donirao KBC Split. Na tom je prenosivom RTG uređaju snimljen čitav niz umjetničkih i arheoloških artefakata za potrebe studenata i profesora s Odsjeka konzervacije-restauracije (sl. 11). U zadnjih 10 – 15 godina, CT i rendgenski uređaji primjenjuju se i u drugim srodnim institucijama u Dalmaciji.¹⁶ Tako, na primjer, pomoću CT uređaja, na Sveučilištu u Dubrovniku na Odjelu za umjetnost i restauraciju, osim štafelajnih slika i polikromiranih drvenih skulptura, kolegica doc. dr. sc. Danijela Jemo snima pojedine liturgijske predmete od tekstila i kože. Odjel Hrvatskog restauratorskog zavoda u Splitu koristi CT, osim za snimanje slika starih majstora, i prenosivi RTG uređaj za snimanje dijelova Buvinovih drvenih vratnica iz splitske katedrale sv. Duje, kao i za snimanje drvenih korskih sjedala. Također, zadarski odjel Hrvatskog restauratorskog zavoda, a i Arheološki muzej, za svoje potrebe, umjetnine snimaju u zadarskoj bolnici. Najnoviji rezultati primjene rendgena dolaze iz Arheološkog muzeja u Splitu gdje su konzervatori pokušali snimiti mramornu antičku

carsku skulpturu nadnaravne veličine s Visa. Također, u suradnji s Brodosplitom, pomoću pokretnog rendgena Andrex Smart 225KV i 3mA te uporabom filmova Indux Fomapak R-5, razvijani u razvijачima Fomadux LT-P i Fomaduks FX. Rezultati su istovjetni s rezultatima koji su bili kod snimanja skulptura iz Narone, što znači da ovaj tip rendgena ne uspijeva prozračiti debljine kamena veće od 24 cm.

Zaključak

Nedugo nakon otkrića X-zraka, rendgenski je aparat našao primjenu u konzerviranju i restauriranju. Kao jedna od

neinvazivnih metoda, najprije se upotrebljavao za snimanje slika starih majstora u svrhu proučavanja boja, lakova, preslika i oštećenja. Veliki svjetski muzeji i restauratorske radionice, međutim, osim za slike rendgen koriste i za snimanje arheološkog materijala, kao što su mumije, životinje i biljke, zatim metal, kost, koža, jantar, keramika, pa čak i kamen. Prateći svjetske trendove i standarde u konzervaciji i restauraciji vidimo da se rendgenski aparat i CT uređaj već odavno koriste u konzervatorsko-restauratorskim radionicama u Dalmaciji, te da su te tehnike postale jedna od uobičajenih neinvazivnih metoda analize materijala. ■

Bilješke

1. ČAPETA RAKIĆ, 2020, 161–176.
2. FARMAKOVSKI, 1949, 44.
3. BÖHLAUS, 1955, 34.
4. PLENDERLEITH, WERNER, 1979, 190.
5. CRONYN, 1992, 7.
6. ČAPETA RAKIĆ, 2020, 161–176.
7. Šteta je što iz tog vremena nemamo ni jedan napisani stručni članak, kao ni slike rendgenske sobe, koja je bila smještena na prvom katu restauratorske radionice u kompleksu samostana sv. Nikole u Zadru. Ostali su nam samo rendgenski filmovi, koji se čuvaju u foto arhivi arheološkog muzeja u Zadru, te se koriste za potrebe pojedinih izložbi, a snimio ih je i obradio prof. Božidar Vilhar. Zahvaljujem ravnatelju Arheološkog muzeja u Zadru, dr. sc. Jakovu Vučiću, te dokumentaristi, gosp. Robertu Maršiću, na ustupljenim fotografijama arheološkog materijala iz tog vremena, snimljenog pomoću rendgen uređaja.
8. Snimanje ovog arheološkog materijala obavljala su se u KBC-u Split već 1984. godine. Riječ je o arheološkoj građi iz fundusa Muzeja hrvatskih arheoloških spomenika u Splitu, Arheološkog muzeja u Splitu te Muzeja Cetinske krajine u Sinju. Međutim, stručnih i znanstvenih radova, osim sporadičnih stručnih radova koje navodim, a koji su vezani za snimanje pomoću rendgena, nema. Šef odjela radiologije bio je prof. dr. sc. Stipan Janković, materijal je snimila časna sestra Ljubica Grgat, inženjerka medicinske radiologije, te Frane Mihanović, također inženjer medicinske radiologije. Zahvaljujem prof. dr. sc. Stipanu Jankoviću, koji nam je pro bono, za potrebe snimanja, ustupio radiološke uređaje i osoblje.
9. Ovdje bih posebno spomenuo doc. dr. sc. Franu Mihanovića, koji je kao inženjer medicinske radiologije, bio zaposlen u KBC-u Firule, a danas radi na Katedri za radiološku tehnologiju, Sveučilišnog odjela zdravstvenih studija Sveučilišta u Splitu. Frane Mihanović, kao vanjski suradnik, od 2009. godine predaje i na Umjetničkoj akademiji u Splitu na Odjelu za konzervaciju i restauraciju. Njegov se izborni predmet se zvao *Primijenjena laboratorijska istraživanja – digitalna radiografija*, a kasnije je postao obvezni kolegij *Radiografska snimanja u konzervaciji i restauraciji umjetnina*. Već negdje oko 1984. godine, za potrebe Muzeja hrvatskih arheoloških spomenika u Splitu, radiološki obrađuje metalne arheološke artefakte, te pokazuje izuzetno zanimanje za takav rad na

umjetničkim predmetima. Napredak tehnologije u radiografiji te nabava prvih CT uređaja u KBC-u Firule, za Franu Mihanovića znači daljnju mogućnost poboljšanja snimanja i obrade arheološkog, ali i drugog umjetničkog materijala. Do danas je rendgenski obradio znatan broj umjetničkih predmeta. Nabrojat ću samo neke: mumije iz župne crkve sv. Blaža u Vodnjanu, drveno raspleo Krista iz crkve Gospe od Šunja na Lopudu, glavni oltar crkve sv. Frane na Krku, snimanje mramornih antičkih skulptura iz Augusteuma u Naroni. Svojim se stručnim radovima dokazao kao vrsni radiološki tehnolog u području konzervacije i restauracije, ne samo u Dalmaciji i Hrvatskoj nego i u svijetu.

10. DONELLI, MIHANOVIĆ, 1999.

11. Zahvaljujem voditelju Zavoda za radiologiju KBC-a Firule u Splitu, prof. dr. sc. Srđanu Boschiju, te ing. med. radiologije Frani Mihanoviću, koji je obavljao snimanje na uređaju SIMENS DRG te obradu slika na računalu DIGITAL PDP 11/84. Također zahvaljujem višem konzervatoru Muzeja hrvatskih arheoloških spomenika u Splitu, Marku Rogošiću, koji je radio na pripremi metalnih uzoraka za dobivanje tabelarnih vrijednosti, a također je sudjelovao kao suradnik u ovom projektu.

12. LARSON, 1986, 22–26.

13. Nakon opsežnih priprema, 9. rujna 1997. godine, tim je radiologa Brodogradilišta u Splitu, s prenosivim rendgenom marke Andrex Smart 300KV i 3mA iz Brodogradilišta u Splitu, krenuo za Vid. Tim su činili inženjer Ante Podrug, tehničar Siniša Repanić, te Leon Kauzlarić, dipl. inženjer iz Fotokemike, koji je imao zadatak odabrati i osigurati prikladne tipove filmova za industrijsku radiografiju, zatim odgovarajuće kemikalije za obradu, opremu za tamnu komoru, a zadatak mu je bio i vođenje kemijske obrade radiograma, i ja, kao konzervator i voditelj projekta ispred Arheološkog muzeja u Splitu.

14. DONELLI, PODRUG, 1997.

15. *Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana* napisao je stručni izvještaj o obavljenom poslu u kojem se navodi nositelj posla, dipl. ing. građevine Zvonko Hribernik te dipl. ing. građevine Iztok Leskovar, te u kojem navode da su 15. ožujka 1991. izvršili radiografsko snimanje spoja između mramornog kipa Augusta Imperatora i njegovog betonskog podnožja u Arheološkom muzeju u Zadru. Snimak je bio izrađen pomoću radioaktivnog izotopa

Co⁶⁰. Napravljene su četiri snimke spoja pod različitim kutovima i s različitim trajanjem zračenja -zraka. Također se navodi da je detaljan postupak snimanja izložen u *Poročilo o opravljenem radiografskem pregledu*.

Literatura

HERMANN BÖHLAUS, *Funde der vorzeit*, Weimar 1955.

J. M. CRONYN, *The Elements of Archeological Conservation*, Routledge London and New York, 1992.

IVANA ČAPETA RAKIĆ, *O zaštiti i očuvanju pokretne baštine u Splitu i Dalmaciji*, Split, 2020.

IVO DONELLI, FRANE MIHANOVIĆ, Metode snimanja i konzervacija metalnih arheoloških predmeta, *Vjesnik za arheologiju i historiju dalmatinsku*, svezak 90–91 (1999.), 459–467

IVO DONELLI, ANTE PODRUG, Radiografske analize mramornih statua iz Narone, *Histria Antiqua*, 3 (1997.), 101–105

16. LILJAK, 2017.

M. F. FARMAKOVSKI, *Konzerviranje i restauriranje muzejskih zbirki*, Zagreb, Gipsoteka 1949.

T. H. LARSON, The Conservation of a Marble group of Neptun and Triton by Gian Lorenzo Bernini, *Studies in Conservation*, 31 (1986.), 22–26

MARIN LILJAK, *Primjena radiografije u drugim područjima*, završni rad, mentor: doc. dr. sc. Frane Mihanović, University of Split, Split, 2017.

H.J. PLENDERLEITH, A.E.A. WERNER, *The Conservation of Antiquities and Works of Art*, London Oxford University Press, 1979.

Summary

Ivo Donelli

BEGINNINGS OF X-RAY AND CT APPLICATION IN RESTORATION IN DALMATIA

The first radiographic images were made in 1895 by Wilhelm Conrad Röntgen when he took a picture of his wife's hand. The bones of the wrist and two rings on a finger can clearly be seen on the image. X-rays were first used in medicine, but X-ray imaging of objects as a non-invasive method was very quickly used for conservation of works of art to examine colours, layers of overpainting and various damage to paintings of old masters. This method of photographing paintings was used at the Kunsthistorisches Museum in Vienna as early as 1914. The use of X-rays is mentioned at the International Congress of Art Historians in Brussels in 1930. The first written data on the use of X-ray imaging for conservation and restoration purposes in Croatia dates back to the late 1940s at the Zagreb restoration workshop, by conservator Zvonimir Wyroubal. The beginning of the non-invasive method for taking pictures of works of art using X-rays in Dalmatia came after a restoration workshop was opened in Split. According to available information, the painting *Virgin and Child* from the church of St Lawrence in Trogir was photographed using this method between 1957 and 1964. Around 1975, the Archaeological Museum in

Zadar began using the X-ray method to photograph archaeological material. The first images of archaeological material in Dalmatia using CT (computed tomography) date back to 1989 and were made at the Firule University Hospital in Split. In addition to paintings by old masters, X-ray imaging has been used as a non-invasive method for archaeological material, especially metals, including alloys, as well as bone, leather, pottery, polychromed wooden sculptures, mummies and stone. In 2006, a radiographic laboratory with an X-ray device was established at the Conservation-Restoration Department of the Arts Academy (University of Split) with donations from the Baptist church in Dubrovnik and University Hospital in Split. Following world trends and standards in conservation and restoration, we can see that the X-Ray and CT machines have long been used in conservation and restoration workshops in Dalmatia, and these techniques have become one of the most common non-invasive methods in material analysis.

KEYWORDS: X-rays, CT imaging, isotope, metal, stone, history