

# Primjena ionizirajućeg zračenja za zaštitu predmeta kulturne baštine

---

Grbac, Mateja

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:271510>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ**

**Mateja Grbac**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, srpanj 2015.**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE**  
**SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ**

Mateja Grbac

**PRIMJENA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA ZA ZAŠTITU PREDMETA  
KULTURNE BAŠTINE**

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: doc.dr.sc. Helena Otmačić Ćurković

Neposredni voditelj: dr.sc. Katarina Marušić, znanstveni suradnik IRB-a

**Članovi ispitnog povjerenstva:**

1. doc.dr.sc. Helena Otmačić Ćurković
2. dr.sc. Katarina Marušić, znanstveni suradnik IRB-a
3. dr.sc. Vilko Mandić

**Zagreb, srpanj 2015.**

*Zahvaljujem mentorici, doc. dr. sc. Heleni Otmačić Ćurković, na predloženoj temi, vodstvu, susretljivosti, motivaciji i savjetima koji su omogućili izradu ovog rada.*

*Zahvaljujem se dr. sc. Katarini Marušić, znanstvenom suradniku Instituta Ruđer Bošković, na stručnoj pomoći, edukaciji te svim savjetima i pomoći koju mi je pružila prilikom izrade i pisanja ovog rada. Ujedno se zahvaljujem dr. sc. Branki Mihaljević, voditeljici Laboratorija za radijacijsku kemiju i dozimetriju Instituta Ruđer Bošković, što mi je omogućila izradu rada u laboratoriju, te također zahvaljujem svim članovima LRKD-a na ugodnom radnom okruženju i pomoći koju su uvijek rado pružali.*

*Zahvaljujem se Vanji Brdar Mustapić, višoj kustosici Muzeja za umjetnost i obrt, te samom muzeju što su mi omogućili uvid i prezentiranje predmeta iz zbirke pribora za pušenje.*

*Posebnu zahvalu upućujem mojim roditeljima, dečku i prijateljima koji me podržavaju tijekom školovanja.*

## SAŽETAK

Pomoću izvora gama zračenja u Laboratoriju za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD) Instituta Ruđer Bošković (IRB) tretiran je pribor za pušenje iz fundusa Muzeja za umjetnost i obrt. U ovom radu opisana je primjena radijacijske metode u svrhu dezinfekcije i dezinfekcije u zaštiti predmeta kulturne baštine od biodegradacije. Biocidni učinak zračenja zasniva se na svojstvu zračenja da uzrokuje kemijsko oštećenje molekula DNK bioloških zagađivača u svim stadijima životnog ciklusa. Najvažniji parametar prilikom ozračivanja je apsorbirana doza zračenja, koja se mora pomno odabrati za svaki pojedini predmet, a njezin izbor ovisi o materijalu od kojega je predmet izrađen.

**Ključne riječi:** kulturna baština, degradacija, biodeterioranti, gama zračenje, radijacijski postupak, apsorbirana doza zračenja, izvor gama zračenja, pribor za pušenje

## SUMMARY

Using the source of gamma radiation in Laboratory for radiation chemistry and dosimetry of Ruđer Bošković Institute, smoking accessories from the collection of the Museum of Arts and Crafts have been treated. This paper describes the radiation method used for disinfestation and disinfection in protection of cultural heritage objects from biodegradation. The biocide effect of irradiation treatment is based on the ability of radiation to cause chemical damage to DNA molecules of the biological pollutants in all stages of their life cycle. The most important parameter during irradiation treatment is the quantity of adsorbed energy, i.e. the adsorbed dose of irradiation, which has to be chosen carefully for each object and its value depends on the type of material the object is made of.

**Keywords:** cultural heritage, degradation, biodeterents, gamma radiation, radiation treatment, adsorbed dose of irradiation, source of gamma radiation, smoking accessories

## **SADRŽAJ:**

1. UVOD .....	1
2. OPĆI DIO .....	2
2.1. Kulturna baština.....	2
2.2. Biodegradacija predmeta kulturne baštine .....	4
2.3. Ionizirajuće zračenje.....	6
2.4. Dozimetrijske veličine i mjerne jedinice .....	11
2.5. Uređaji za zapažanje i mjerenje zračenja.....	13
2.6. Organski materijali u kulturnoj baštini .....	16
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	18
3.1. Materijali u sastavu pribora za pušenje iz fundusa Muzeja za umjetnost i obrt.....	18
3.2. Izvor zračenja .....	23
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	24
5. ZAKLJUČCI.....	29
LITERATURA.....	30

# 1. UVOD

---

Biocidan efekt zračenja uočen je na početku 20-og stoljeća, odmah nakon otkrića prirodnog zračenja. Unatoč tome, ionizirajuće zračenje se koristi u industriji tek kroz zadnjih nekoliko desetljeća, najviše za sterilizaciju medicinske opreme. Tehnike zračenja koriste se još od 70-ih godina 20. stoljeća kao način da se očuva kulturna baština.

Tretman ionizirajućeg zračenja je intervencijska metoda pomoću koje se može zaustaviti, ili barem smanjiti brzina propadanja predmeta kulturne baštine. Kao takva, razlikuje se u potpunosti od karakterizacijskih tehnika kojima je cilj samo skupiti informacije, bez obzira da li se informacija pokaže korisnom kod očuvanja predmeta ili samo služi za dokumentarne interese. Kao i za sve druge metode očuvanja kulturne baštine, tako i kod ove metode moraju se razmotriti etička načela da bi se održao predmet u originalnom stanju. Metoda se odlikuje sposobnošću prodiranja u predmete, zahvaljujući gama zračenju.

Veliki udio u strukturi kulturne baštine čine materijali poput kože, drva, tekstila ili papira. Svi ovi materijali su zapravo prirodni polimeri koji su osjetljivi na vanjske uvjete. Voda, kisik, smog iz atmosfere, kiseline, temperatura i svjetlo su fizički i kemijski agensi koji uzrokuju propadanje kulturne baštine. Raspadanje predmeta je još često uzrokovano od strane bioloških agresora poput mikro-organizama i insekata. Preventivni plan očuvanja je vrlo učinkovit kod suzbijanja faktora kemijsko-fizičke degradacije. Uglavnom je dovoljno kontrolirati okolinu da bi se obuzdali biološki faktori, pod uvjetom da njihov razvoj nije već ranije započeo. Ako je već započet razvoj, tada svaki predmet mora biti izložen tretmanu, da bi se zaustavio daljnji razvoj. Potreban je temeljit tretman za dezinfekciju predmeta, jer gljivice, bakterije i insekti imaju kompleksan životni ciklus, uključujući faze mirovanja kod kojih su vrlo otporni na razne biocide i nepovoljne uvjete života.<sup>1</sup>

S obzirom da je tehnologija ionizirajućeg zračenja visoko razvijena nije iznenađenje da se radijacijski tretman primjenjuje za dezinfekciju kulturne baštine. Usporedimo li ovaj tretman s drugim alternativnim tehnikama, ionizirajuće zračenje nam daje velike prednosti.



## 2. OPĆI DIO

---

### 2.1. Kulturna baština

Kulturna baština predstavlja nasljeđivanje materijalnih svjedočanstava i vrijednosti prošlosti, te njihovu potrebu za očuvanjem i korištenjem u sadašnjosti u svrhu evidentiranja, spoznavanja i izučavanja ljudskih aktivnosti kroz vrijeme i u raznim prebivalištima. Veliki dio kulturne baštine čine umjetnička djela u užem i širem značenju, od umjetničkih predmeta likovnih umjetnosti, preko umjetnički oblikovanih uporabnih predmeta, do umjetnosti u prostoru koja se očituje u spomeničkoj plastici, arhitekturi i gradogradnji. Čitava kulturna baština dijeli se na materijalnu i nematerijalnu, tj. onu kojoj su nositelji značenja predmeti materijalne kulture ili pak složenije prostorne strukture poput građevina ili gradova i onu koja se posredno služi materijalnim svijetom (zvukom u glazbi, gestom u plesu, proizvodom u vještini ili tehnologiji izrade stvari) tek da bi se u određenom trenutku manifestirala otkrivajući da je nazočna. Kako djela likovnih umjetnosti pripadaju materijalnoj kulturnoj baštini, to se ona prema svojim fizičkim značajkama mogu svrstati u dvije temeljne kategorije, pokretnu i nepokretnu baštinu. Pokretnu baštinu čine ona djela koja svojim materijalnim bićem nisu vezana uz prostor i mjesto gdje se nalaze, već se bez većih poteškoća mogu prenijeti na neko drugo mjesto, dok je oznaka nepokretne baštine čvrsta povezanost s tlom ili mjestom na kojem su ta djela nastala.<sup>2</sup>

Očuvanjem kulturne baštine bavi se konzervacija, odnosno restauracija, koja uključuje ispitivanje, dokumentiranje i preventivnu skrb, te obradu i očuvanje kulturnih dobara, a to sve upotpunjeno istraživanjem i obrazovanjem.<sup>3</sup> Preventivna konzervacija je važan element muzejske zaštite i brige za zbirke. Obuhvaća stvaranje i održavanje propisanih konzervacijskih uvjeta poput vlažnosti i temperature. Muzej je dužan pažljivo nadzirati stanje zbirke, kako bi se primjereno i na vrijeme moglo odlučiti treba li neki predmet podvrgnuti konzervatorskom zahvatu. Interventna konzervacija odgovara bilo kojem djelovanju poduzetom od strane konzervatora nakon izbijanja infekcije, a koje uključuje izravan dodir konzervatora s objektom. Objekt se mora zadržati u stanju što je moguće bliže izvornom i to što je moguće dulje. Traži se da interventne metode budu opravdane, optimizirane, učinkovite te ograničene. Pri izboru najpovoljnije metode nužno je uzeti u obzir stanje u kojem se materijal nalazi, vrstu nametnika te najmanji mogući utjecaj na okoliš. Prvenstveni je cilj rada

minimiziranje propadanja tretiranog, drugi od vodećih principa svakako je ideja o reverzibilnosti primijenjenih postupaka, odnosno da po potrebi sve izvedene akcije mogu biti potpuno uklonjive te da predmet može biti vraćen u stanje koje je prethodilo konzervatorskoj intervenciji. Podrazumijeva se primjereno i temeljito dokumentiranje svih faza rada, znači prije, tijekom i nakon zahvata.<sup>4</sup>

## 2.2. Biodegradacija predmeta kulturne baštine

Predmeti kulturne baštine organskog porijekla podložni su razgradnji uslijed biološkog djelovanja nametnika.<sup>5</sup> Degradacija predmeta kulturne baštine uključuje biološku degradaciju: bakterije, gljivice, plijesni, insekti zatim mehaničku degradaciju: trenje, šok, vibracije, vjetar, valovi, voda (bubrenje) i kemijsku degradaciju: zagrijavanje, zagađenje, kiselost, voda (hidroliza), foto degradacija (UV, vidljivi spektar).<sup>4</sup>

Materijali organskog porijekla podložni su razgradnji uslijed djelovanja biodeterioranata koji nastanjuju objekte kulturne baštine i hrane se materijalima od kojih su izrađeni (celuloza, proteini). Djeluju u svim stupnjevima proizvodnje i skladištenja. Njihovo djelovanje utječe na promjenu izgleda (obezbojenje, obojene mrlje), gubitak čvrstoće, djelomičnu ili potpunu razgradnju materijala. Također, izazivaju kemijske promjene poput promjene stupnja oksidacije, smanjenja stupnja polimerizacije i razgradnje molekularne strukture. Važne su sve akcije praćenja stanja predmeta, kao i akcije sprečavanja i suzbijanja biološke degradacije.<sup>6</sup>

Metode uklanjanja biodeterioranata se dijele za kemijske i fizikalne metode. U zaštiti kulturne baštine se najčešće koriste kemijske metode, konkretno fumigacija. U fizikalne metode se ubrajaju radijacijski postupak, te tretman UV zrakama, ultrazvukom i strujom. U ovom radu je korišten radijacijski postupak primjenom ionizirajućeg zračenja.<sup>4</sup>

Fumigacija se najčešće primjenjuje za zaštitu drvenih predmeta. Fumigacija je postupak uništavanja insekata plinom. Šira upotreba najčešće primjenjivanih otrovnih plinova, etilen oksida ili metil bromida, u posljednje vrijeme je ograničena strogim propisima o zaštiti radnika i okoliša, pošto su ovi plinovi štetni kako za zdravlje operatera tako i ljudi u blizini tretiranog predmeta. Osim toga fumiganti često nisu djelotvorni jer ne prodiru dovoljno u dubinu materijala, upitno je njihovo djelovanje na jajašca te neki insekti su u stanju proizvesti zaštitne prepreke. Uz sve nabrojane nedostatke, fumigacija je i skupi postupak.

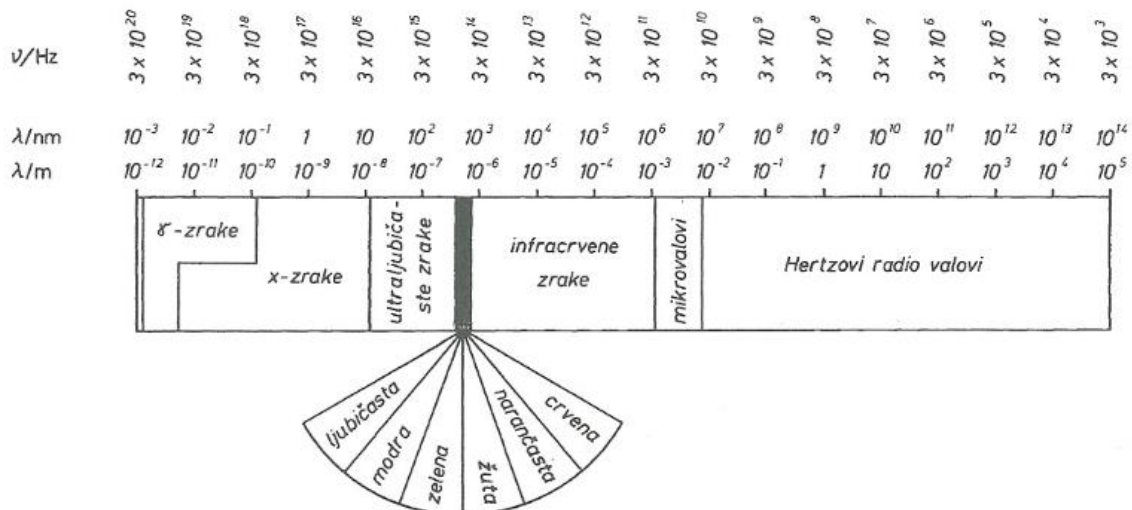
S druge strane radijacijska obrada gama zračenjem u potpunosti zaustavlja biodegradaciju, koristi se za konzervaciju predmeta, a može se koristiti i za konsolidaciju. Radijacijska metoda bazira se na svojstvu ionizirajućeg zračenja da trajno oštećuje molekule DNK bioloških zagađivala. Osniva se na saznanjima prikupljenim za radijacijsku obradu farmaceutika, kozmetičkih i medicinskih materijala te se pokazala vrlo učinkovitom u spašavanju predmeta kulturne baštine.<sup>6</sup>

Parametri koje treba kontrolirati kod kemijskog postupka (plin) su vrijeme, temperatura, pakiranje, gustoća, tlak/vakuum, vlažnost i koncentracija dok se kod fizičkog postupka (zračenje) kontrolira samo vrijeme.

### 2.3. Ionizirajuće zračenje

Zračenje je pojava prijenosa energije u obliku fotona (elektromagnetsko zračenje) ili elementarnih čestica (korpuskularno zračenje). Zračenje koje ima dovoljnu energiju da u međudjelovanju s nekom tvari ionizira tu tvar naziva se ionizirajućim zračenjem.<sup>7</sup>

Elektromagnetsko zračenje je vrsta energije koja se prenosi kroz prostor najvećom mogućom brzinom. Predstavlja vremensku promjenu elektromagnetskog polja, koja se u vakuumu širi brzinom oko 300 000 km/s. Iako ga dijelimo u razne podtipove zračenja riječ je svugdje o promjeni elektromagnetskog polja. Za različita svojstva tih podtipova odgovorna je različita količina energije koju posjeduju. Vrijedi pravilo što je viša frekvencija to je veća energija (slika 1).<sup>8</sup>



Slika 1. ELEKTROMAGNETSKI SPEKTAR

Duljina valova vidljive svjetlosti je od 400-800 nm, rendgenskih zraka 0,01-1 nm, a  $\gamma$ -zraka 0,001-0,1 nm. Vidljivu svjetlost možemo rastaviti na svjetla svih duljina valova od 400 do 800 nm staklenom prizmom ili optičkom rešetkom. Tako dobijemo spektar vidljive svjetlosti koji se sastoji od svjetlosti crvene, narančaste, žute, zelene, modre i ljubičaste boje, koje kontinuirano prelaze jedna u drugu. Uzmemo li prizmu od kremenca, možemo dobiti i spektar zraka manje valne duljine, sve do 200 nm. Zrake te valne duljine nazivamo ultraljubičastim ili ultravioletnim zrakama, a njihovo spektralno područje ultraljubičastim ili ultravioletnim područjem. S prizmom od kamene soli (NaCl) i nekih drugih tvari možemo dobiti i spektar zraka veće valne duljine od 800 nm, čak preko  $10^5$  nm. Te zrake nazivamo

infracrvenim zrakama, a njihovo spektralno područje infracrvenim područjem. Još veće duljine valova imaju toplinske zrake (do 0,1 cm), a zatim radio-valovi: mikro-valovi (0,1-10 cm), kratki valovi (1-100 m), srednji valovi (100-1000 m) i dugi valovi (više od 1000 m). Valne duljine svih navedenih valova čine elektromagnetski spektar.<sup>9</sup>

Elektromagnetsko ili fotonsko zračenje nastaje uglavnom prijelazom elektrona s više energijske razine na nižu energijsku razinu u elektronskom omotaču atoma, zatim kočenjem brzih elektrona, te u nuklearnim procesima, općenito pri promjenama energijskog stanja u svijetu atoma. Korpuskularno zračenje nastaje raspadom atomske jezgre ili ubrzanjem čestica u električnom ili promjenljivom magnetskom polju.<sup>7</sup>

Po količini energije koju nose, zračenja dijelimo u dvije velike klase: ona zračenja koja imaju dovoljnu količinu za ionizaciju atoma (izbacivanje elektrona iz neutralnog atoma i stvaranje električki nabijenog iona) zovemo ionizirajućima dok ostala svrstavamo u neionizirajuća zračenja. U ionizirajuća zračenja ubrajamo kozmičko, gama i rendgensko od elektromagnetskih zračenja te sva korpuskularna zračenja.<sup>8</sup>

Ionizirajuće zračenje posljedica je promjene materije u mikrosvijetu. To su promjene energijskog stanja atoma ili sastava atoma i atomske jezgre, pri čemu se emitiraju fotoni (kvanti energije) ili elementarne (subatomske) čestice, i to pojedinačno ili u skupinama. U susretu zračenja s tvari nastaju vrlo složena međudjelovanja. Zračenje predaje tvari dio energije ili svu energiju, pa se i samo mijenja ili nestaje, a predana energija mijenja svojstva i stanja ozračene tvari. Ionizirajuće zračenje ne uzrokuje da tijelo postane radioaktivno. Radioaktivnost je pojava emitiranja ionizirajućeg zračenja u obliku brzih čestica ili fotona visokih energija. Popratna je pojava pri raspadanju nestabilnih atomskih jezgara, tzv. radionuklida. Prema porijeklu radionuklida postoji prirodna radioaktivnost (emitiranje iz radionuklida koji postoje u prirodi ili prirodno nastaju) i umjetna radioaktivnost (emitiranje iz umjetno stvorenih radionuklida i njihovih nestabilnih potomaka). Bez obzira na porijeklo nestabilne jezgre se raspadaju, izbacujući neke od elementarnih čestica pa se time pretvaraju u druge nuklide, što je najčešće popraćeno i  $\gamma$ -zračenjem.<sup>7</sup>

Ionizirajuće zračenje nastaje pri nuklearnim pretvorbama (raspadanjem atomskih jezgara), elektronskim prijelazima u omotačima pobuđenih atoma, ubrzanjem naelektriziranih čestica u električnim ili promjenljivim magnetskim poljima te kočenjem brzih čestica. Tijela ili uređaji koji zbog nekih od navedenih uzroka zrače nazivaju se izvorima ionizirajućeg zračenja. Ti izvori mogu biti prirodni ili umjetni, te trajni ili povremeni.

Razlikuju se prema vrsti zračenja koje emitiraju, zatim energiji ili drugim svojstvima fotona ili čestica koje emitiraju. Prirodni izvori ionizirajućeg zračenja su prirodno radioaktivne tvari, nuklearni procesi u zvijezdama od kojih potječe kozmičko zračenje, te tvari koje u međudjelovanju s prirodnim zračenjem emitiraju sekundarno zračenje. Umjetni izvori ionizirajućeg zračenja jesu tvari koje su umjetno načinjene nuklearnim procesima u reaktorima i nuklearnim eksplozijama, akceleratori čestica te mete koje u međudjelovanju s umjetnim zračenjem emitiraju sekundarno zračenje.

Elektromagnetsko ionizirajuće zračenje obuhvaća rendgensko zračenje i  $\gamma$ -zračenje, iako ionizaciju nekih tvari uzrokuje već i ljubičasta svjetlost i ultraljubičasto zračenje. Korpuskularno zračenje, prema česticama naziva se  $\alpha$ -zračenjem,  $\beta$ -zračenjem, protonskim te neutronskim zračenjem. Zajedničko je svojstvo svih vrsta ionizirajućeg zračenja njihovo atomsko i subatomske podrijetlo, kao i relativno velika energija koja im omogućuje da vrše ionizaciju. Međutim, način kako do te ionizacije dolazi razlikuje se prema vrsti zračenja.

Rendgensko zračenje, nazvano prema W. C. Röntgenu, čine elektromagnetski valovi kratkih valnih duljina, od  $10^{-10}$  do oko  $10^{-13}$  m. Često se naziva i X-zračenjem. Rendgensko zračenje proizvedeno bombardiranjem mete ubrzanim elektronima (npr. u rendgenskoj cijevi) sastoji se od dviju komponenata, tzv. zakočnog zračenja (kontinuirani spektar) i tzv. karakterističnog zračenja (linijski spektar).

Zračenje masenim česticama nastaje raspadom atomske jezgre. Brzina masenih čestica, iako vrlo velika, manja je od brzine svjetlosti.

*Alfa ( $\alpha$ -)zračenje* je roj tzv.  $\alpha$ -čestica koje se sastoje od dva protona i dva neutrona. Naboj im je  $+2e$ , dakle to su ionizirane atomske jezgre helija-4. Energija alfa-čestica koje izbacuju atomske jezgre iznosi nekoliko megaelektronvolta, a u zraku mogu preći tek nekoliko centimetara.

*Beta ( $\beta$ -)zrake* su visokoenergetski elektroni ili pozitroni koji su stvoreni i emitirani od pojedinih radionuklida. To su lagane čestice negativnog odnosno pozitivnog naboja. Prvi nastaju raspadom jezgara s viškom neutrona, a drugi nastaju prilikom raspada nuklida s viškom protona.

*Neutronske zračenje* je roj brzih neutrona, po masi sličnih protonima. Vrlo lako prodiru kroz tvar jer nemaju električni naboj. Neutronske zračenje može biti posljedica nuklearnih reakcija. Vrlo snažno neutronske zračenje nastaje u nuklearnim

reaktorima tijekom nuklearne lančane reakcije. Energija neutrona kod neutronske zračenja iznosi od oko 10 MeV pa niže. Ako se energija neutrona smanji na energije manje od 1 eV, nazivaju se termičkim neutronima.<sup>10</sup>

*Gama ( $\gamma$ )-zračenje* čine elektromagnetski valovi valnih duljina kraćih od  $\sim 10^{-13}$  m. Osim valnom duljinom, gama zračenje se često opisuje i energijom fotona. To su fotoni energija viših od nekoliko desetaka megaelektronvolta. To visoko-energetsko elektromagnetsko zračenje emitira radioaktivna jezgra.  $\gamma$ -zračenje nastaje energijskim prijelazima nestabilnih atomskih jezgri radioaktivnih tvari, uništenjem čestica i usporavanjem vrlo brzih čestica. Ozračivanje je interakcija zračenja i tvari. Velika prodornost osigurava efikasnost i pouzdanost biocidnog djelovanja. Mogućnost obrade u smrznutom stanju, nema zagrijavanja („hladni postupak“), postiže učinkovito iskorištavanje energije. Senzibilizacija zagađivača toplinom i zaštita materijala hlađenjem omogućuje sinergističko djelovanje. Zračenje je neselektivno, djeluje na sve organizme u svim fazama njihova razvoja. Ionizirajuće zračenje ima sposobnost utjecaja na velike kemijske molekule od kojih su sastavljena sva živa bića te na taj način uzrokuje značajne biološke promjene. Biološki učinci ionizirajućeg zračenja uzrokovani su energijom koju je tkivo primilo zračenjem, težina bioloških oštećenja je nerazmjerna veličini predane energije, efekti su uzrokovani direktnim i indirektnim interakcijama.

Radijacijska metoda dezinfestacije je fizikalna, nekontaktna metoda koja se zasniva na zračenju materijala visokoenergetskim fotonima elektromagnetskog zračenja, odn.  $\gamma$ -zrakama iz radioaktivnog kobalta-60. Ionizirajuće zračenje uzrokuje kemijsko oštećenje molekula DNK odnosno kidanje fosfodieterskih veza i oštećenja baza i šećera svih bioloških zagađivača u svim stadijima životnog ciklusa. DNK koja je sadržana u genima služi kao kalup za sintezu ribonukleinskih kiselina (RNK) koje upravljaju proteinskom sintezom, pogotovo sintezom enzima koji su bitni za život stanica. Radioosjetljivost stanica povezana je s enzimskim sadržajem stanice. Oštećenje samo nekoliko enzimskih molekula, može dovesti do uništenja stanice. Osim transkripcije važna funkcija DNK je i repliciranje lanca RNK koja je najosjetljivija na zračenje.<sup>11</sup>

Komercijalne tvrtke za ozračivanja doprinijele su razvoju tehnologije radijacijskog postupka dekontaminacije predmeta kulturne baštine. Posebno se ističu dvije organizacije, koje su tijekom 40 godina obrađivale isključivo predmete kulturne baštine: Laboratoire ARC-Nucleart, CEA, Grenoble, Francuska i Uređaj za konzerviranje zračenjem, Muzej Središnje



Češke, Roztoky, Češka. Najveći dio njihove aktivnosti pokriva radijacijska dezinsekcija pojedinačnih drvenih predmeta kulturne baštine. Dezinsekcija zračenjem kompletnih inventara muzeja, u prigodama njihove nužne povremene obnove, pruža primjere uspješne masovne primjene radijacijske metode.<sup>12,13</sup> Radijacijski uređaji mogu se nalaziti u sklopu istraživačkih laboratorija ili kao posebne jedinice. Neki od njih nalaze se u IRB – Zagreb (Hrvatska), IRASM – Bucharest (Rumunjska), MITR – Łódź (Poljska) te ENEA – Casaccia (Italija).

## 2.4. Dozimetrijske veličine i mjerne jedinice

Zračenje predaje ozračenoj tvari energiju, pa se zbog toga mijenjaju i svojstva zračenja i svojstva ozračenog tvari. Energija koju je zračenje predalo tvari uzrokuje niz pojava u tvari i mijenja njezina svojstva. Mjerenje doze zračenja i njezinih posljedica u tvari naziva se dozimetrija.<sup>7</sup> Kvantifikacija i definiranje veličina, odnosno jedinica u kojima se veličine izražavaju i mjere predmet su dozimetrije.

Energija predana tvari je pokazatelj učinka zračenja pa je ona i polazna dozimetrijska veličina. Predana energija,  $E_d$ , definirana je kao razlika ulazne energije,  $E_u$ , i izlazne energije,  $E_i$ , zračenja koje prolazi nekim tijelom:

$$E_d = E_u - E_i \quad (1)$$

Jedinica predane energije je džul (J).

Fizikalne veličine koje opisuju ionizirajuće zračenje i popratne pojave opisuju izvor zračenja (npr. aktivnost izvora), snop zračenja (npr. energijski tok) i djelovanje zračenja na tvar (npr. apsorbirana doza). Iako samo posljednja skupina obuhvaća dozimetrijske veličine, često se i sve druge veličine koje opisuju zračenje nazivaju dozimetrijskim veličinama, jer o njima ovisi konačni učinak, doza zračenja u tvarima.<sup>7</sup> Doza zračenja je najvažniji parametar radijacijskog postupka. Parametri pri određivanju doze zračenja su početna razina biološkog zagađenja, radioosjetljivost ozračenih organizama te prihvatljiv faktor redukcije zagađivača (nametnika).<sup>4</sup>

Aktivnost radioaktivnog izvora,  $A(t)$ , jest broj nuklearnih raspada u jedinici vremena:

$$A(t) = dN(t)/dt. \quad (2)$$

Jedinica za radioaktivnost je bekerel (Bq) definiran aktivnošću izvora u kojem se događa jedan raspad u sekundi te je on jedan od naziva za recipročnu sekundu ( $Bq = s^{-1}$ ). Stara izvansustavna jedinica je kiri (Ci), definirana aktivnošću jednog grama radija  $^{226}\text{Ra}$  u iznosu  $Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$ . Ova jedinica se i danas u praksi koristi zbog lakše snalažljivosti sa brojčanim vrijednostima. Aktivnost se mijenja u vremenu kako se radionuklid raspada.

Prosječna energija po nuklearnom raspadu,  $\Delta E_i$ , je umnožak broja čestica,  $n_i$ , i prosječne energije,  $E_i$ , jedne čestice i-tog tipa:

$$\Delta i = n_i * E_i \quad (3)$$

Izračun apsorbirane doze započinje pretvaranjem aktivnosti izvora u energiju koju izvor odašilje. Sva odašlana energija neće biti apsorbirana pa će nakon toga biti potrebno izračunati koliko je od nje apsorbirano po jedinici mase. Apsorbirana doza zračenja,  $D$ , je energija apsorbirana od ionizirajućeg zračenja po jedinici mase tijela:

$$D = E_d / m \quad (4)$$

Jedinica apsorbirane doze grej (Gy=J/kg) definirana je dozom zračenja koje je tijelu mase 1kg predalo energiju jednog džula (J). Stara jedinica rad bila je 100 puta manja. Osnovni sastavni elementi, odnosno podatci koji su potrebni za izračunavanje apsorbirane doze jesu: fizikalne osobine radionuklida, podatci o prostornoj raspodjeli, tj. biološkoj raspodjeli radionuklida koji je izvor zračenja, te procjena doze.<sup>14</sup>

Dozimetrijske se veličine stavljaju u omjer s vremenom ozračivanja, te se taj omjer zove brzina te veličine, a označava se sa točkom iznad znaka te veličine. Brzina apsorbirane doze,  $\dot{D}$ , je kvocijent povećanja apsorbirane doze i vremena u kojem je to povećanje nastalo:

$$\dot{D}[\text{Gy/s}] = D[\text{Gy}] / t[\text{s}] \quad (5)$$

Jedinica je grej u sekundi (Gy/s). Brzina doze ovisi o jačini polja zračenja koja ovisi o aktivnosti izvora, tj. o broju raspada u vremenu. Jačina polja se smanjuje s kvadratom udaljenosti od izvora zračenja. Osoblje u laboratoriju za radijacijsku obradu osigurava dozimetrijsku kontrolu i određuje optimalnu geometriju. Bira se najmanja doza koja ne proizvodi neželjene efekte, a osigurava konzervaciju.<sup>6</sup>

Učinak zračenja u tvari ne ovisi samo o predanoj energiji, već i o vrsti zračenja i o tvari. Konačni učinci zračenja na tvar ovise o nizu drugih čimbenika: o načinu (jednokratno ili višekratno, stalno ili promjenljivo) i ritmu ozračivanja, o tome je li ozračeno tijelo u praznini, ili je okruženo istovrsnom ili različitom tvari, je li ozračeno samo zapaženo tijelo ili i okolna tvar, nalazi li se izvor zračenja izvan tijela ili je radioaktivna tvar u promatranom tijelu, lokalizirana ili raspršena.<sup>7</sup>

## 2.5. Uređaji za zapažanje i mjerenje zračenja

Čovjek nema vlastitih senzora za detekciju ionizirajućeg zračenja. Indikatori ili detektori zračenja su najjednostavniji uređaji pomoću kojih se samo zapaža zračenje. Mjerni uređaji ili instrumenti primjenjuju kvantitativno poznat odnos između nekog svojstva zračenja koje se mjeri i pojave koju je zračenje izazvalo. Do danas su konstruirani brojni uređaji za zapažanje i mjerenje zračenja, a većina njih može se razvrstati u tri osnovne skupine: vizualizatori tragova, brojači i dozimetri.

*Vizualizatori tragova* su uređaji pomoću kojih se na temelju nekog međudjelovanja mogu privremeno ili trajno vidjeti tragovi čestica ili fotona u tvari. Takvi su uređaji radiografski sloj i Wilsonova maglena komora. Primjenjuju se prije svega u znanstvenim istraživanjima, gdje se promatranjem i mjerenjem tragova čestica i fotona mogu saznati mnoga njihova svojstva.

*Brojači*, nazvani i detektorima, uređaji su pomoću kojih se registriraju i broje pojedine naelektrizirane čestice a i fotoni npr. gama-zračenja. Takvi su uređaji Geiger-Müllerov brojač u kojemu čestice uzrokuju lančanu ionizaciju plina, scintilacijski brojač u kojemu čestice zračenja uzrokuju iskrenje kristala na koji upadaju, poluvodički brojač kojemu zračenje mijenja električna svojstva, te mnogi suvremeni brojači koji osim što broje još i lokaliziraju česticu zračenja, odnosno određuje mjesto gdje međudjeluje s tvari. Takvi suvremeni brojači mjere istodobno s više detektora i više mjernih kanala, pa se prostorni raspored radioaktivne tvari u nekoj drugoj tvari može vrlo točno odrediti (gama kamere).<sup>7</sup>

*Dozimetri* su uređaji pomoću kojih se mjeri energija (doza) koju je zračenje predalo tvari. Takvim uređajima pripada radiografski sloj u kojemu se mjeri zacrnjenje što ga je uzrokovalo zračenje, ionizacijske komore u kojima se mjeri jakost ionizacijske struje ili električno pražnjenje, luminescentni slojevi na kojima se mjeri jakost svjetla što ga je uzrokovalo zračenje.

Kemijski dozimetri pokazuju kemijske promjene izazvane apsorbiranom energijom ionizirajućeg zračenja. Energija dovedena odabranom sistemu izaziva u njemu kemijsku reakciju. Može se odrediti i parametar G sistema koji nam govori koliko će molekula konačnog produkta reakcije biti stvoreno za svakih 100 eV dovedene energije. Potrebno je da upotrijebljeni sistemi daju reproducibilne vrijednosti parametra G, da su neovisni o energiji upadnog zračenja i njegovom intenzitetu, te da je njihova temperaturna ovisnost dobro

poznata. Sistemi koji udovoljavaju takvim uvjetima imaju G vrijednosti oko 20, pa su pogodni samo za mjerenje doza u području od desetak greya. Mjerenje doza u području 1 do 10 Gy vrši se sa sistemima koji imaju G vrijednosti veće od 20. Povećanje vrijednosti G postiže se upotrebom sistema u kojima se odvijaju lančane kemijske reakcije. Međutim reproducibilnost rezultata je u ovim sistemima manja.<sup>7</sup>

Etanol-klorbenzenski dozimetar, ECB, (slika 2) korišten je za određivanje apsorbirane doze zračenja u Laboratoriju za radijacijsku kemiju i dozimetriju na Institutu Ruđer Bošković. Temelji se na procesu radiolitičkog formiranja klorovodične kiseline (HCl) u vodenoj otopini klorbenzena u etanolu ionizirajućim zračenjem. Postoje brojne analitičke metode mjerenja količine HCl-a u etanolu. Otopina klorbenzena u etanolu u kojemu koncentracija nastalog HCl linearno raste s dozom namijenjen je dozimetriji visokih doza. Osmislili su ga hrvatski znanstvenici, te je prema podacima Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) treći najrašireniji takav sustav u istraživačkim i industrijskim uređajima za ozračivanje diljem svijeta. Sustav je osmislio Igor Dvornik, osnivač Laboratorija za radijacijsku kemiju i dozimetriju na IRB-u. Taj sustav označio je otklon od dotad prevladavajućih vodenih sustava upotrebljavajući etanol-klorbenzensku otopinu, po kojoj je i dobio ime. Odziv dozimetra bio je nezavisan od doze, brzine doze, LET-a i energije zračenja u širokom rasponu ovih varijabla, bio je neosjetljiv na nečistoće i uvjete u okolišu, a za njegovo očitavanje mogle su se upotrijebiti brojne analitičke tehnike. Zahvaljujući svojoj jednostavnosti i pouzdanosti sustav je postao popularan među korisnicima diljem svijeta.<sup>15</sup>



**Slika 2. ETANOL-KLORBENZENSKI DOZIMETAR, ECB**

Oscilotitrator se koristi u rutinskoj kontroli pri očitavanju dozimetara. Sastoji se od čitača uključujući kontrole i oscilatora, koji su ugrađeni zajedno sa držačem ampula. Ozračene ampule dozimetra moraju biti smještene u držač ampula kako bi se izvršilo visoko frekvencijsko konduktometrijsko očitavanje. Zbog različitih koncentracija vodljivih vrsta u otopini, što je uzrokovano zračenjem, drugačiji otkloni instrumenata su prikazani na mjerilu. Ovisno o koncentraciji vodljivih vrsta potrebno je namjestiti različite raspone osjetljivosti na oscilotitratoru. Ampula sa dozimetrom se stavlja u držač ampula i zabilježi se otklon instrumenta. Koristeći se kalibracijskim dijagramom ili nekom matematičkom jednadžbom izračuna se apsorbirana doza.<sup>16</sup>

Pri zaštiti od zračenja najvažnija je upotreba tzv. osobnih dozimetara. To je posebna skupina dozimetara koju čine dozimetri za integralno registriranje zračenja. Njima se mjeri ukupna doza zračenja koju prima osoba za vrijeme nošenja dozimetra. Osobne dozimetre obavezno nose svi radnici koji rade sa izvorima zračenja, te se on obično drži na prsima i ne smije se prekriti tkaninom ili ga na bilo koji način "skriti" jer tako smanjujemo količinu zraka koju bi on trebao registrirati. Za osobni dozimetar upotrebljavaju se ionizacijska komora za integralno registriranje, zatim radiografski film, a u novije vrijeme i termoluminescentni dozimetar koji se zasniva na pohranjenoj energiji u čvrstim tijelima koja se oslobađa u obliku termoluminiscencije.<sup>7</sup>

## 2.6. Organski materijali u kulturnoj baštini

Materijali od kojih su izrađeni predmeti kulturne baštine uglavnom su organskog podrijetla. U tu skupinu spadaju prirodni polimeri (drvo, papir, koža, krzno, tekstil i dr.) i sintetički polimeri (celuloza-acetat, poliester, guma). Uz navedene materijale kao dijelovi objekata pojavljuju se anorganski materijali (staklo, poludrago kamenje, minerali, sedef) te komponente polikromnih objekata (premaži, veziva, pigmenti, gips).<sup>6</sup>

Prilikom ozračivanja predmeta sastavljenih od osjetljivih prirodnih polimera dozu treba podesiti tako da i najmanja doza, učinkovita protiv čimbenika biorazgradnje, istovremeno bude manja od doze koja bi izazvala degradaciju materijala.

*Papir* u sebi sadrži celulozu koju dobiva od tekstila ili od drvene kaše. Celuloza je hrana za razne gljivice koje napadaju papir iz arhiva, muzeja i knjižnica, što uzrokuje njihovo propadanje. Gljivice probavljaju celulozu, čime se smanjuje stupanj polimerizacije, dolazi do gubljenja mehaničkih svojstva i otpuštanja metabolita. Uobičajena doza protiv pljesni koje se sreću u arhivima iznosi 8 kGy dok je 8 do 9 kGy dovoljno za uništavanje većine štetočina. Za potpuno uklanjanje gljivica potrebna je doza od 18 kGy. Takva doza uzrokuje promjene fizičkih, mehaničkih i kemijskih svojstava papira, te povećanje kiselosti papira.<sup>6</sup> U praksi upotrijebljene dezinfekcijske doze za papir do 10 kGy, ne izazivaju značajnije kemijske promjene u ozračenim papirnim materijalima.<sup>17,18,19</sup>

*Drvo* sadrži 41- 43 % celuloze, 20 -30 % hemiceluloze, 23 - 27 % lignina, razne smole, masne kiseline i sterole te celulozne fibrile ugrađene u matriks od lignina. Suho drvo napadaju insekti, dok vlažno drvo napadaju gljivice. Već oštećeno drvo je još osjetljivije. Prodornost gama zračenja je idealna za velike objekte. Termička i mehanička svojstva ostaju gotovo nepromijenjena do doza od 100 kGy. Mehanička svojstva do zračenja od 50 kGy, čak su bolja kod ozračenog nego kod neozračenog drva, naime lignin „štiti“ drvo od negativnog utjecaja zračenja. Kod doza koje se primjenjuju za dezinfekciju drva promjene pigmenata drva su zanemarive. Odabir doze koja se primjenjuje za drveni objekt određuju obično pigmenti premaza kojima je objekt ukrašen a koji su podložni promjeni boje uslijed djelovanja zračenja.

*Koža i pergament* su životinjskog porijekla te sadrže protein kolagen, kojeg čine niti čiji raspored, orijentacija i konzistentnost određuju svojstva kože. Struktura kolagena ostaje nepromijenjena do 50 kGy.

*Vlakna* mogu biti životinjskog porijekla (vuna, svila) i biljnog porijekla (pamuk, lan, juta). Vlakna životinjskog porijekla se sastoje od proteinskih polimera, dok se vlakna biljnog porijekla sastoje od celuloznih polimera. Proteinski polimeri su znatno otporniji na zračenje od celuloznih. Kod njih ni doza od 100 kGy ne pokazuje značajne promjene.

Prednosti radijacijskog postupka za materijale organskog podrijetla su ta da ozračeni objekti ne postaju radioaktivni, nema opasnosti ni za restauratore ni kustose ni posjetitelje ni okoliš, te djeluje po cijelom volumenu. Ovisi o samo jednom parametru, apsorbiranoj dozi koju je lako kontrolirati. Moguće je postići dezinfekciju bez vidljivih i/ili mjerljivih promjena skoro svih materijala organskog porijekla. Istovremeno djeluje na sve štetne organizme u svim fazama njihova razvoja, prodire kroz ambalažu, postupak je relativno brz i veći broj objekata se može tretirati istovremeno. Postupak se provodi na odabranoj, u pravilu sobnoj temperaturi. Moguća je i obrada u smrznutom stanju, jer nema zagrijavanja. Osjetljivost zagađivača može se povećati zagrijavanjem.<sup>6</sup>



### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

---

#### 3.1. Materijali u sastavu pribora za pušenje iz fundusa Muzeja za umjetnost i obrt

Za poboljšanje uvjeta čuvanja pribora za pušenje iz fundusa Muzeja za umjetnost i obrt preventivnom zaštitom i konzervacijom obuhvaćeni su predmeti na kojima su uočeni tragovi insekata kao i ostali predmeti predviđeni za gama zračenje na Institutu Ruder Bošković.

Kolekcija se sastoji od 53 predmeta koju čine 22 lule, 12 cigaretnika u etuiju, 7 kutija šibica, 6 kutija za cigare, 4 burmutice, jedna nargila i cigarete. Predmeti iz kolekcije bili su selekcionirani i složeni u kutije različitih dimenzija. U nastavku su detaljnije opisani pojedini materijali od kojih su izrađeni predmeti iz kolekcije pribora za pušenje na kojima se mogu najbolje primijetiti ostvareni rezultati zračenja.

Kutije šibica te burmutica (na slikama 3 i 4 su dva primjera iz kolekcije) izrađene su većim dijelom od *ljepenke* (kartona) koja je deblja i čvrsta vrsta papira. Najčešće se izrađuje od drvenjače i otpadaka papira. Izrađuje se bijela (drvena), smeđa i siva. Siva ljepenka upotrebljava se uglavnom za sve vrste uveza, a bijela i smeđa za kutije.<sup>20</sup> Taj višeslojni materijal dobiva se od raznih vlakana lijepljenjem i prešanjem. Postoje dva tipa ljepenke: ravna i valovita. Valovita ljepenka ima najčešće tri sloja, dva kartona gore i dolje, a u sredini međusloj od mekšeg kartona koji pojačava tvrdoću i nosivost ambalaže, a slojem zraka i njenu termičku izolaciju. Koristi se za izradu raznih vrsta ambalaže, vreća i kao izolacioni materijal.



**Slika 3. KUTIJA ŠIBICA**

ljepenka, papir, drvo; Švedska, oko 1870. tvornica: Jönköpings Tändsticksfabriks Patent  
vel. 6 x 9,5 x 3,3 cm; Arhiv Muzeja za umjetnost i obrt



**Slika 4. BURMUTICA**

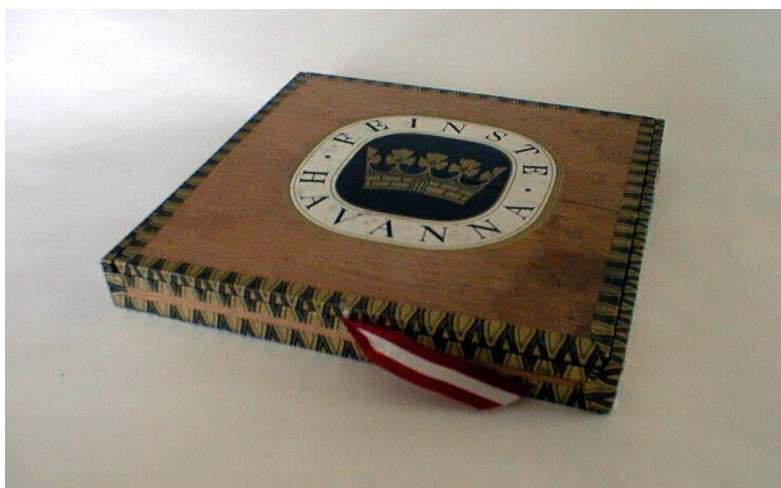
ljepenka, ulje; druga pol. 18. st.  
promjer 12,5 cm; vis. 4,7 cm; Arhiv Muzeja za umjetnost i obrt

Cigaretnici u etuiju (jedan primjer je prikazan na slici 5) najčešće su izgrađeni od *jantara* ili *čilibra*. To je amorfan, žuto-smeđi mineral iz skupine fosilnih smola. Osim različitih fosilnih smola sadrži jantarnu kiselinu i eterično ulje. U jantaru ima prosječno 78% ugljika, 10% vodika, 11% kisika, 0,4% sumpora i dr.



**Slika 5. LULA I CIGARETNIK U ETUIJU**  
 stiva, jantar, pozlaćeni mjedni okov, 19.st.  
 vel. 5,5 x 13,5 cm; Arhiv Muzeja za umjetnost i obrt

Kutije za cigare (primjer je prikazan na slici 6) sastoje se većim dijelom od *furnira* koji je tanka daščica, debljine 0,6 – 3,5 mm. Dobiva se od finih drva poput hrastovine, orahovine, jasenovine i drugih. Prema načinu dobivanja, dijeli se na rezani i ljušteni furnir. Rezani furnir dobiva se rezanjem prethodno pripremljenih trupaca furnirskim nožem i upotrebljava se za dekorativno oblaganje drvnih ploča, dok se ljušteni dobiva ljuštenjem trupaca pomoću ljuštilica i upotrebljava se uglavnom za proizvodnju furnirskih ploča.<sup>20</sup>



**Slika 6. KUTIJA ZA CIGARE SA CIGAROM**  
 furnir, rezani; papir  
 vel. 14,5 x 15,5 x 2 cm; Arhiv Muzeja za umjetnost i obrt

Lule su izgrađene od materijala poput stive (slike 5 i 7), bruyèrea (slika 8) i rožine (slika 9). *Stiva* ili *Meerschaum* u slobodnom prijevodu „morska pjena“ je mineral (magnezijev silikat) još poznat i pa nazivu sepiolit. Može biti kristalična ili vlaknasta. Mineral kada je sirov i dovoljno vlažan se lako obrađuje osnovnim alatom. Po sušenju i dodatnoj obradi (većinom potapanjem u tekući vosak te poliranjem) postaje izvrstan i nadasve lijep materijal za izradu figurica i ostalih ukrasnih predmeta.<sup>21</sup>

Korijen, francuskog naziva *bruyère*, biljke *Erica arborea* (Drvenasta crnjuša) je iznimno čvrst, otporan na toplinu i apsorbira vlagu te je zbog tih svojstva pogodan za izradu lula. Korijen veličine nogometne lopte, star između 30 do 60 godina se izvadi iz tla, te se kuha par sati i nakon toga se suši nekoliko mjeseci prije nego bude dalje obrađivan. Drvo je svijetlo smeđe do crveno smeđe boje i lijepe teksture. Osim što je vrlo čvrst i otporan na visoke temperature, također ne utječe na aromu duhana. Materijal se još koristi za izradu nakita i drški noževa.<sup>22</sup>



**Slika 7. LULA**  
stiva, mjed; 1803.  
na okovu utisnuto: LR  
vel. 11 x 10 cm; Arhiv Muzeja za  
umjetnost i obrt



**Slika 8. LULA**  
bruyère; 20. st.  
utisnuto: BRUYERE GARANTIE  
duž. 13 cm ; promjer 3 cm; Arhiv Muzeja za  
umjetnost i obrt

*Rožina* je najčešće od rogova starijih muških goveda, najčešće vodenog bivola, ali i drugih vrsta goveda. Odlikuje se biokompatibilnošću sa ljudskom kožom, malom specifičnom težinom te lijepim bojama i teksturom.



**Slika 9. LULA**

rog divokoze, rožina, poniklani metal; Austrija, kraj 19. st. ili poč. 20. st.  
vel. 8,7 x 11,2 cm; Arhiv Muzeja za umjetnost i obrt



### 3.2. Izvor zračenja

U Hrvatskoj raspolažemo višenamjenskim panoramskim uređajem za ozračivanje gama zrakama  $^{60}\text{Co}$  u Laboratoriju za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD) Instituta Ruđer Bošković (IRB).



Slika 10. IZVOR ZRAČENJA

Izvor zračenja (slika 10) sastoji se od vertikalnog cilindričnog sklopa sastavljenog od 24 nosača sa šipkama punjenim kapsulama radioaktivnog izotopa kobalta,  $^{60}\text{Co}$ . Izvor se iz svog sigurnog položaja iz podzemnog spremišta dovodi u radni položaj pomoću elektromotornog pogona pri čemu se nosači  $^{60}\text{Co}$  podižu u prostoriju za ozračivanje uzoraka. Komora za ozračivanje pravokutnog je oblika (4.9m x 3.9m x 3.5m) kapaciteta za 4–6 m<sup>3</sup> materijala. Maksimalna brzina doze,  $\dot{D}_{\text{max}}$ , je u vrijeme izrade ovog rada iznosila približno 8 kGy/h. Uzorci su zračeni na različitim udaljenostima od centra određenim prema eksperimentalno potvrđenom pravilu prema kojem brzina doze pada s kvadratom udaljenosti. Snimanje polja zračenja odvija se pomoću etanol-klorbenzenskog dozimetrijskog sustava.

Izvor gama zračenja u Laboratoriju za radijacijsku kemiju i dozimetriju jedini je te vrste u Hrvatskoj i susjednim zemljama. Prikladan je za razne znanstveno-istraživačke svrhe, od područja srednjih brzina doze koje se koristi u radiobiologiji do visokih brzina doze potrebnih za istraživanja u radijacijskoj kemiji, radijacijskoj dozimetriji i radijacijskoj tehnologiji. Prikladan je za višenamjenske usluge radijacijske obrade materijala u svrhu dezinfekcije, dezinfekcije, pasterizacije i sterilizacije raznih roba i materijala.<sup>23</sup> Uređaj se posljednjih 25 godina koristi i za očuvanje i zaštitu predmeta kulturne baštine. U suradnji s Hrvatskim restauratorskim zavodom (HRZ) i drugim ustanovama, ozračivanjem je tretirano više od 5000 drvenih skulptura, dijelova oltara, pokućstva, muzičkih instrumenata te drugih drvenih, papirnih, kožnih i tekstilnih predmeta.<sup>24</sup> LRKD sudjeluje već niz godina i u intenzivnoj međunarodnoj suradnji na projektu zaštite kulturne baštine nuklearnim metodama pod pokroviteljstvom Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA).

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

---

Kolekcija pribora za pušenje iz fundusa Muzeja za umjetnost i obrt tretirana je radijacijskom tehnikom na Institutu Ruđer Bošković, u sklopu restauracije i očuvanja kolekcije.

Materijali od kojih su izrađeni predmeti iz kolekcije uglavnom su organskog podrijetla te su podložni razgradnji biodeterioranata koji nastanjuju objekte kulturne baštine i hrane se njihovim materijalima (celuloza, proteini). Uočeno je više vrsta insekata na kolekciji pribora za pušenje.

Kod tekstila uočeni su ostatci *srebrne ribice*. Srebrne ribice (slika 11) su sitni beskrilni insekti. Ime su dobile zbog svoje srebrne boje i pokreta poput ribe. Veličine su između 13-30 mm. Prehrana im se bazira na šećerima i škrobu.



**Slika 11. SREBRNA RIBICA**

Kod roga bili su prisutni *kožuškari* (*Anthrenus scrophulariae*) (slika 12) koji spadaju u porodicu sitnih kukaca kornjaša. Oni su crni, smečkasti ili žuti, dugi do 8 mm. Odrasli kožuškari se često hrane peludom, a ličinke tkaninom, krznom ili namirnicama. Ličinke žive u suhoj životinjskoj tvari: po skladištima namirnica, muzejima, zoološkim zbirkama i sl.



**Slika 12. KOŽUŠKARI**

Cigarete u sebi sadrže celulozu koja služi kao hrana raznim gljivicama i insektima koje napadaju papir iz arhiva, muzeja i knjižnica, što uzrokuje njihovo propadanje (slika 13).



**Slika 13. CIGARETE IZ KOLEKCIJE PRIBORA ZA PUŠENJE**



U postupku konzerviranja odlučeno je da se predmeti izrađeni od materijala poput ljepenke, jantara, furnira, stive, bruyèrea i rožine (lule, kutije šibica, cigaretnik u etuiju, kutije za cigare, rog) ozrače dezinfekcijskom dozom od 2 kGy pri brzini doze od 0,138 mGy/s u preventivne i interventne svrhe. Također je odlučeno da se cigarete ozrače dozom od 5 kGy uz brzinu doze od 0,347 mGy/s. Uzorci su zračeni na različitim udaljenostima od centra izvora zračenja. Udaljenosti su određene izborom optimalne brzine doze uzevši u obzir pravilo prema kojem brzina doze pada s kvadratom udaljenosti od centra zračenja. Za dozu zračenja od 2 kGy udaljenost od izvora zračenja iznosila je 60 cm dok je za dozu zračenja od 5 kGy udaljenost iznosila 40 cm. Parametri zračenja su prikazani u tablici 1.

**Tablica 1: Parametri zračenja**

Vrijeme zračenja	Brzina doze (mGy/s)	Doza zračenja (kGy)	Udaljenost od izvora zračenja (cm)
8h = 28800 s	0,138	2	60
	0,347	5	40

Apsorbirane doze zračenja su kontrolirane pomoću etanol-klorbenzenskih dozimetara (ECB). Korišten je ECB dozimetar formulacije 10% za dozu zračenja od 5 kGy, a 40% formulacije kod doze 2 kGy.

Predmeti iz kolekcije raspoređeni su u tri kutije različitih veličina, te su dva predmeta zamotana u zaštitnu foliju i nisu bili u niti jednoj kutiji. Dozimetri su zalijepljeni na kutije na određena mjesta kako bi zabilježili raspodjelu apsorbirane doze po cijeloj kutiji. Slika 14 prikazuje kutije oblijepljene dozimetrima, a tablica 2 opisuje dimenzije kutija i dozimetre kojima je praćena raspodjela doze.



**Slika 14. ECB DOZIMETRI NA KUTIJAMA KOJE SADRŽE PRIBOR ZA PUŠENJE**

**Tablica 2: Parametri prilikom zračenja**

Dimenzije kutije (cm)	Položaj dozimetara	Primljena doza (kGy)
60x46x13	1-unutar kutije u njezinoj sredini 4-5 su raspoređeni na vanjskim krajevima kutije	2
Predmeti zamotani u zaštitnu foliju	6-7 s vanjske strane predmeta koje smo zaštitili folijom	5
52x15x4,5	8-nalazi se u sredini unutar kutije 9-10 na njezinim krajevima s vanjske strane	2
30x19x10	11-smješten u sredini unutar kutije 12-13 su raspoređeni na vanjskim krajevima kutije, svaki s jedne strane	2

Ukupno je korišteno 13 dozimetara od kojih je njih 11 raspoređeno na kutije u kojima su se nalazili predmeti poput lula, kutija šibica, cigaretnika u etuiju, kutija za cigare te roga koje smo ozračili dezinfekcijskom dozom od 2 kGy u preventivne i interventne svrhe, dok su se dva dozimetra brojeva 6 i 7 nalazila na predmetima na kojima su uočeni tragovi insekata poput cigareta i kutije šibica koje su tretirane dozom od 5 kGy.

Tablica 3 prikazuje očitavanja dozimetara na oscilatoru i preračunate apsorbirane doze za dozu od 5 kGy, a tablica 4 za dozu od 2 kGy.

**Tablica 3: Doza zračenja 5 kGy  
Dozimetar koncentracije 10%**

Formula za izračun apsorbirane doze,  $D$ :  
 $D=(\text{očitavanje}-15,3)*(231,3/1000)$

Oznaka dozimetra	Očitana vrijednost	Apsorbirana doza, $D$ /kGy
6	42	6,18
7	37	5,02

**Tablica 4: Doza zračenja 2 kGy  
Dozimetar koncentracije 40%**

Formula za izračun apsorbirane doze,  $D$ :  
 $D = ((\text{očitanje}/8) - 1)$

Oznaka dozimetra	Očitana vrijednost	Apsorbirana doza, $D/\text{kGy}$
1	28	2,50
2	21	1,63
3	22	1,75
4	26	2,25
5	27	2,38
8	28	2,50
9	24	2,00
10	26	2,25
11	29	2,63
12	27	2,38
13	29	2,63

**Tablica 5: Izračun srednje vrijednosti apsorbirane doze za pojedinu kutiju s priborom za pušenje**

Brojevi dozimetra unutar iste kutije	Srednja vrijednost apsorbirane doze (kGy)
1,2,3,4,5	$2,10 \pm 0,40$
6,7	$5,60 \pm 0,58$
8,9,10	$2,25 \pm 0,25$
11,12,13	$2,55 \pm 0,08$

Iz dobivenih rezultata može se uočiti da su apsorbirane doze približno jednake onima predviđenima, te da su odstupanja unutar pojedine kutije minimalna, odnosno da je uspješno izvršena dezinfekcija predmeta iz kolekcije pribora za pušenje.

## 5. ZAKLJUČCI

---

Radijacijska metoda primjenjuje se u svrhu dezinsekcije i dezinfekcije u zaštiti predmeta kulturne baštine od biodegradacije. Biocidni učinak zračenja zasniva se na svojstvu zračenja da uzrokuje kemijsko oštećenje molekula DNK bioloških zagađivača u svim stadijima životnog ciklusa. Ovisno o vrsti štetočina određuje se potrebna apsorbirana doza zračenja.

U ovome radu je primijenjena radijacijska tehnika na kolekciji pribora za pušenje iz fundusa Muzeja za umjetnost i obrt. Kolekcija je podijeljena u tri kutije i dva predmeta zamotana u zaštitnu foliju. Označeni su etanol-klorbenzenskim dozimetrima kojima se kontrolirala apsorbirana srednja doza zračenja po pojedinoj kutiji. Kutije su ozračene i pokazalo se da su odstupanja od predviđenih doza bila minimalna.

Sada kada je zaustavljen daljnji napredak biodegradacije predmeta iz kolekcije moguće je pristupiti obnovi oštećenih predmeta.

## LITERATURA

---

- <sup>1</sup> L. Cortella, Q. K. Tran, W. J. Gluszewski, I. V. Moise, C. C. Ponta, *Nuclear Techniques for Preservation of Cultural Heritage Artefacts*, IAEA Technical Cooperation Project-RER 8015
- <sup>2</sup> I. Maroević, *Baštinom u svijet / Into the World with the Cultural Heritage*, Petrinja, 2004., (33-34)
- <sup>3</sup> D. Ražem, Predavanje na simpoziju: *Radijacijske metode u zaštiti kulturne baštine*, IRB / HRZ, Zagreb, 4. i 5. 10. 2011., (2-3)
- <sup>4</sup> B. Katušin-Ražem, Predavanje na simpoziju: "Zračenje-terapija za kulturnu baštinu", 98. Kolokvij knjižnice IRB-a, 7.12.2011.
- <sup>5</sup> P. Tiano, *Biodegradation of Cultural Heritage: Decay Mechanisms and Control Methods*, CNR – Centro di studio sulle "Cause Deperimento e Metodi Conservazione Opere d'Arte", Via G. Capponi 9, 50121 Firenze, Italia. 2001. [http://www.arcchip.cz/w09/w09\\_tiano.pdf](http://www.arcchip.cz/w09/w09_tiano.pdf)
- <sup>6</sup> I. Pucić, Predavanje na simpoziju: „*Radijacijske metode u zaštiti kulturne baštine*“; *Utjecaj gama zračenja na predmete kulturne baštine od organskih materijala*, Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju, IRB, Zagreb
- <sup>7</sup> Z. Jakobović, *Ionizirajuće zračenje i čovjek*; Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- <sup>8</sup> Internetska stranica Fakulteta elektrotehnike i računarstva, <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2003/klemencic/str02.html>, 16:33; 25.06.2015.
- <sup>9</sup> I. Filipović, S. Lipanović, *Opća i anorganska kemija*, I. dio opća kemija; Školska knjiga, Zagreb, 1995.
- <sup>10</sup> Wikipedia, Ionizirajuće zračenje: vrste ionizirajućeg zračenja [http://hr.wikipedia.org/wiki/Ioniziraju%C4%87e\\_zra%C4%8Denje#Vrste\\_ioniziraju.C4.87eg\\_zra.C4.8Denja](http://hr.wikipedia.org/wiki/Ioniziraju%C4%87e_zra%C4%8Denje#Vrste_ioniziraju.C4.87eg_zra.C4.8Denja), 2013
- <sup>11</sup> V. Paić, G. Paić, *Osnove radijacione dozimetrije i zaštite od zračenja*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet. Zagreb, 1983.
- <sup>12</sup> L. Cortella ARC-Nucleart, CEA, Grenoble. *Privatno priopćenje* (2007)
- <sup>13</sup> J. Urban, P. Justa, *Conservation by gamma irradiation: the Museum of Central Bohemia in Roztoky*. Museum 1986;38;165-167

- 
- <sup>14</sup> D. Dodig, D. Ivančević, S. Popović, *Radijacijske ozljede: dijagnostika i liječenje* (Radiation injuries: diagnostics and treatments), Medicinska naklada, Zagreb, 2002
- <sup>15</sup> D. Ražem, U spomen, *Kem. Ind.* 59 (12), 2010., 627–632
- <sup>16</sup> *Standard Practice for Use of the Ethanol-Chlorobenzene Dosimetry System*, ISO/ASTM 51538:2002(E)
- <sup>17</sup> I. Kost, J. Vervliet, J. Havermans, A.A. Hadeel, *Interdisciplinary journal for the preservation and restoration*, CR: 2007;8:16-18
- <sup>18</sup> J. Havermans TNO, The Netherlands. *Privatno priopćenje*. 2009.
- <sup>19</sup> G. Magaudda, *The recovery of biodeteriorated books and archive documents through gamma radiation: some considerations on the results achieved*, *Journal of Cultural Heritage* ;5:2004., 113-118
- <sup>20</sup> N. Bogdanov, M. Krleža, *Enciklopedija Leksikografskog zavoda*, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 1968.
- <sup>21</sup> Internetska stranica Muzeja za umjetnost i obrt: *stiva; meerschaum* <http://athena.muo.hr/?object=linked&c2o=30445>, 2014., 16:37; 25.06.2015.
- <sup>22</sup> Wikipedia, *Erica arborea*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Erica\\_arborea](http://en.wikipedia.org/wiki/Erica_arborea), 2014
- <sup>23</sup> D. Ražem: *Twenty years of radiation sterilization in Croatia*, *Radiation Physics and Chemistry* 71 (1-2), (2004) pp. 595-600
- <sup>24</sup> B. Katušin-Ražem, D. Ražem, M. Braun, *Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia*. *Radiat Phys Chem* 78:2009; 729-731

---

## ŽIVOTOPIS

Mateja Grbac rođena je 08. prosinca 1992. godine u Varaždinu. Godine 1999. upisuje II. Osnovnu školu u Varaždinu koju završava 2007. godine, a iste godine svoje srednjoškolsko obrazovanje nastavlja na općem smjeru Prve gimnazije Varaždin. Po završetku srednje škole 2011. godine upisuje Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, studij Kemije i inženjerstva materijala.